



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

**POVRCHOVÉ ÚPRAVY MATERIÁLŮ NA BÁZI ŽELEZA**

SURFACE MODIFICATION OF FERROUS MATERIALS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Lucie Jakubčíková

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP

**BRNO 2017**



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství  
Studentka: **Lucie Jakubčíková**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Povrchové úpravy materiálů na bázi železa

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce pojednává rešeršní formou o metodách, kterými je možné upravovat povrchy materiálů na bázi železa tak, aby vyhovovaly různým technickým aplikacím.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Studentka ve své práci:

- popíše skupinu materiálů na bázi železa
- stručně charakterizuje různé metody úprav jejich povrchů
- zmíní vhodné technické aplikace popsaných metod

#### **Seznam literatury:**

Askeland, D. R., Phulé, P. P. The Science and Engineering of Materials. 5th ed. UK: Thomson, 2006. ISBN 0-534-55396-6.

Callister, W. D. Material Science and Engineering, An Introduction. GB: John Wiley and Sons, 2003. ISBN: 0-471-22471-5.

European Commission Integrated Pollution Prevention and Control: Surface Treatment of Metals and Plastics, August 2006. Online version available on <http://tantec.com/surface-treatment-of-metals.html>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 11. 11. 2016



prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o povrchových úpravách. Jsou zmíněny materiály na bázi železa a jejich značení. Je popsán proces porušování materiálů korozí a opotřebením. Následně je rozebráno hlavní téma předúprav povrchů, kovových, anorganických nekovových a organických povlaků. Jsou popsány základní vlastnosti povlaků a jejich zkoušení. Nakonec je uvedena zmínka o negativních vlivech povrchových úprav.

## Klíčová slova

Povrchová úprava, povrch, povlak, nátěr, korozní produkty, tloušťka povlaku.

## Abstract

The bachelor's thesis is about surface treatments. There are mentioned iron-based materials and their marking. The process of corrosion and wear of materials is described. Then is analyzed the main topic of surface pretreatments, metal, inorganic non-metallic and organic coatings. The basic properties of the coatings and their testing is described. At the end are mentioned the negative effects of the surface treatments.

## Key words

Surface treatment, surface, coating, paint, corrosion products, coating thickness.

## Bibliografická citace

JAKUBČÍKOVÁ, L. *Povrchové úpravy materiálů na bázi železa*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP.

# Prohlášení

Já, Lucie Jakubčíková, prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité prameny a literaturu.

V Brně dne 26.5.2017

.....

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce, paní Ing. Evě Mollikové, Ph.D., Paed IGIP za cenné rady a připomínky při vypracovávání bakalářské práce a paní Ing. Tatianě Jakubčíkové za podporu ve studiu.



# Obsah

Abstrakt .....	1
Prohlášení .....	3
Poděkování .....	4
Obsah .....	5
Úvod .....	7
1 Technické materiály na bázi železa .....	8
1.1 Železné kovy .....	8
1.1.1 Nekujné železné kovy .....	8
1.1.2 Kujné železné kovy .....	9
1.1.2.1 Oceli k tváření .....	10
1.1.2.2 Oceli na odlitky .....	11
1.1.2.3 Značení ocelí .....	11
2 Porušování povrchů .....	14
2.1 Koroze .....	14
2.1.1 Chemická koroze .....	14
2.1.2 Elektrochemická koroze .....	15
2.2 Opotřebení .....	16
3 Povrchové úpravy .....	17
3.1 Předúpravy povrchů .....	17
3.1.1 Broušení .....	18
3.1.2 Leštění .....	18
3.1.3 Kartáčování .....	19
3.1.4 Otryskávání .....	19
3.1.5 Omílání .....	20
3.1.6 Odmašťování .....	20
3.1.7 Moření .....	20
3.2 Nanášení povlaků .....	21
3.2.1 Kovové povlaky .....	21
3.2.1.1 Chemické kovové povlaky .....	21
3.2.1.2 Elektrochemické kovové povlaky .....	22
3.2.1.3 Žárové kovové povlaky .....	25
3.2.1.4 Metalizovaný kovový povlak .....	26
3.2.1.5 Termodifúzní kovové povlaky .....	27
3.2.1.6 Kovové povlaky tvořené ve vakuu .....	27

3.2.1.7 Naválcované kovové povlaky .....	28
3.2.2 Nekomové anorganické povlaky .....	28
3.2.2.1 Konverzní vrstvy .....	28
3.2.2.2 Smaltové povlaky .....	29
3.2.3 Organické povlaky .....	30
3.2.3.1 Nátěry a laky .....	30
3.2.3.2 Povolaky z plastů .....	31
3.3 Vlastnosti ochranných povlaků .....	32
3.3.1 Tloušťka .....	32
3.3.2 Přílnavost .....	33
3.3.3 Pórovitost .....	34
3.3.4 Propustnost .....	34
3.4 Negativní vlivy povrchových úprav .....	34
Závěr.....	36
Literatura .....	37
Seznam použitých zkratk.....	39

## Úvod

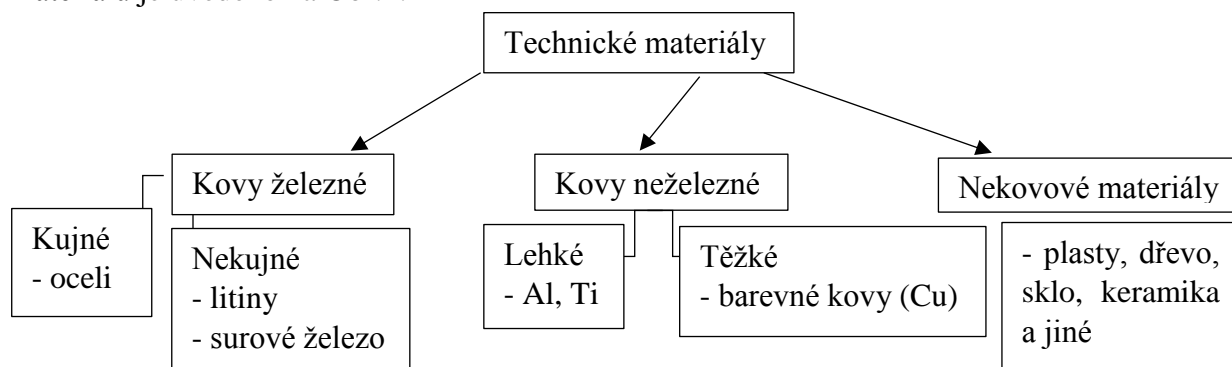
Technické materiály jsou dennodenně vystaveny okolnímu agresivnímu prostředí, to je pro životnost dané součástky nebo konstrukce nepříznivé. Mnohdy nelze tuto životnost ani predikovat přesně, ale pouze přibližně. Kovy a další materiály mají tendenci po určité době korodovat, případně se opotřebit a ztratit tak svoje důležité mechanické vlastnosti bez nichž již nejsou použitelné pro svůj vlastní účel. Navíc se požadavky na korozní odolnost součástí zvyšují. Je tedy snaha vždy co nejekonomičtěji zvýšit životnost těchto součástí, popřípadě co nejsnáze opravit ty, které byly nějakému provozu vystaveny a byly porušeny. Proto se v dnešní době těší oblibě povrchové úpravy, o kterých pojednává tato bakalářská práce.

Povrchovými úpravami se dosahuje požadovaných drsností, vyrovnaní nerovností, zbavení mastnot, koroze a jiných nedokonalostí. Ideální volbou je nanášení povlaků, jež jsou vynikající ochrannou proti vniknutí vody, kyslíku a jiných narušitelných elementů na povrch samotného základního kovu. Povrchové úpravy zvyšují rapidně životnost a mechanické vlastnosti základního kovu, proto je výhodné každý povrch povlakovat a vytvořit tak mezivrstvu materiálu a okolního prostředí. Výsledná součást je odolnější proti korozi, otěru, vysoké teplotě, zlepšují se třecí, mechanické, ale i estetické vlastnosti. Je však důležité vědět jaká aplikace a jaký typ povlaku je vhodný pro daný kov, jaký povlak je nejideálnější volbou pro danou funkci součásti. Musí se dbát na správné dodržení postupů, jinak by povrchové úpravy mohly v nejhorším případě působit opačně a místo ochrany kovu by mohly kovu spíše škodit, případně jej nedostatečně chránit.

Nutná je vždy kvalitní předúprava povrchu opracováním pomocí broušení, leštění, kartáčování, otryskání, omílání, odmašťování, či moření. Dále je důležitá znalost chemických procesů zejména elektrolýzy či potenciálních řad kovů, při vylučování elektrochemických či chemických kovových povlaků. Znalost difuzních přeměn při aplikování termodifúzních povlaků a teplotních vlastností kovů při nanášení žárových a metalizovaných povlaků. Pro zhodnocení kvality výsledného naneseného povlaku jsou důležité zkoušky kritériálních vlastností jako je tloušťka, přilnavost, pórovitost nebo propustnost. Všechny tyto zkoušky jsou přesně dané normou a jsou důležité pro stanovení jakosti výsledného povlaku.

# 1 Technické materiály na bázi železa [1], [2], [3]

V praxi se užívá nezměrné množství různých technických materiálů. Tyto materiály se užívají při výrobě strojů a dalších výrobků. Liší se navzájem chemickým složením a způsobem zpracování, což určuje jejich vlastnosti a následné použití; základní rozdělení technických materiálů je uvedeno na Obr.1:



**Obr. 1 – Schéma rozdělení technických materiálů [23]**

Nejpodstatnější využití materiálu ve strojírenství skýtají kovy, z nich se nejvíce uplatňují právě ty na bázi železa. Jsou tedy hlavním tématem ke zkoumání.

## 1.1 Železné kovy [1], [2], [3], [4]

Podle procentuálního obsahu uhlíku se kovy dělí na kujné oceli s obsahem uhlíku do 2,14 % a nekujné s obsahem uhlíku nad 2,14 %. Toto rozdělení je zřejmé i z pohledu rovnovážného diagramu metastabilní soustavy Fe-C, kdy železné kovy s obsahem uhlíku pod 2,14 % je možné převést do tvárného stavu a dostat se tak ohřevem do oblasti austenitu. V případě obsahu nad 2,14 % se vedle austenitu (nebo perlitu) vylučuje sekundární cementit a ledeburit, které svojí křehkostí tváření neumožňují a kovy jsou tedy nekujné.

### 1.1.1 Nekujné železné kovy [1], [2], [3], [4]

Nekujné železo se vyrábí ve vysokých pecích, a to buď bílé surové železo, nebo šedé surové železo. V bílém surovém železe je uhlík v podobě cementitu a způsobuje křehkost (nekujnost). V šedém surovém železe je uhlík obsažen částečně ve feritu  $\alpha$  a částečně je vyloučen jako grafit.

Bílá litina je vyrobena přetavením bílého surového železa. Se svým vysokým obsahem cementitu je téměř neopracovatelná, má vysokou tvrdost a křehkost. Užívá se tedy jen velice výjimečně.

Dlouhodobým žíháním (temperováním) bílé litiny v pecích dojde k rozpadu cementitu (ten zapříčiňuje vysokou tvrdost), který je obsažen v ledeburitu, na grafit a železo. Vyloučí se tzv. temperovaný grafit, který má tvar nepravidelných zrn. Takto se vyrábí litina temperovaná, která je pevnější, méně tvrdá, méně křehká, je houževnatá a snadno obrobitelná. V některých případech má litina větší smrštění a horší zabíhavost, neuplatňuje se tedy ve výrobě velkých odlitků. Dle způsobu žíhání je možné získat dva druhy litin: při žíhání na dostatečně vysoké teplotě se cementit rozpadá na grafit a ferit – litina s černým lomem neboli feritická, při žíhání a zároveň oduhličování litiny – litina s bílým lomem neboli perlitická. Temperovaná litina se využívá při výrobě tělesa armatur, maticových klíčů, automobilových a elektrických součástí.

Litina s lupínkovým grafitem (LLG) je vyrobena přetavením šedého surového železa, vratného slévárenského materiálu, litinového a ocelového odpadového materiálu ze šrotu. Kromě asi 3 % obsahu uhlíku obsahuje navíc další prvky, například mangan a křemík. Má menší pevnost než oceli, je však lépe slévatelná, odolnější proti korozi a levnější na výrobu. Je poměrně křehká a nemá téměř žádnou tažnost, proto je možné ji porušit bez předchozí deformace. Uplatňuje se v odlévání skříní turbín, čerpadel, méně namáhaných ozubených kol. Litiny s lupínkovým grafitem se dělí na:

- LLG nelegované – kromě železa je hlavním prvkem uhlík. Vyrábí se z ní např. řemenice, poklopy, stroje, motorů.
- LLG legované – kde se přidáním legujících prvků jako je chrom, wolfram, vanad, titan zlepši mechanické vlastnosti nelegované litiny, zjemňují a zkracují se lupínky grafitu původní struktury, zlepšuje se žáruvzdornost, žárupevnost, korozivzdornost. Uplatňuje se tedy ve výrobě součástí pece, jako jsou roštnice, součásti licích forem.

Očkováním, tj. přidáním hořčíku do lící pánve před odlitím, lze ovlivnit tvar grafitu, kdy se místo lupínků začne vylučovat kuličkový grafit a vzniká tak litina s kuličkovým grafitem (LKG) s vyšší pevností a tažností. Kuličkový grafit také tlumí chvění a účinky vrubů součástí, při namáhání nezpůsobuje pnutí (jako je to u lupínkového grafitu). Litina s kuličkovým grafitem má několik modifikací podle pohledu na základní kovovou matici litiny: LKG feritická, LKG perlitická, LKG feriticko-perlitická, LKG perliticko-feritická. Litina s kuličkovým grafitem se uplatní při výrobě těles armatur, ložiskových těles, ozubených kol, tepelně a dynamicky namáhané součásti.

Pro litiny s lupínkovým grafitem, s kuličkovým grafitem a temperované litiny se pak podle výběru z ČSN 42 0006 užívá označení tříd, které je stejné jako u oceli na odlitky, ty pak pouze zastupují třídy 26-29. Značení litin je uvedeno na Obr.2:

Značení	Druh litiny
42 23 xx	Litina s kuličkovým grafitem
42 24 xx	Litina s lupínkovým grafitem
42 25 xx	Temperovaná litina

První dvojčíslí – udává normu hutnictví 42

Druhé dvojčíslí – zařazení litin do skupin

Třetí dvojčíslí – udává přibližnou hodnotu meze pevnosti v tahu [MPa]

**Obr. 2 – Značení litin [1]**

### 1.1.2 Kujné železné kovy [1], [2], [3], [4]

Železnými kovy kujnými se rozumí oceli. Ocel se vyrábí ze surového železa tzv. zkujňováním, při kterém probíhá spalování uhlíku a odstraňování škodlivých prvků (křemík, mangan, síra, fosfor). Výroba oceli probíhá: v konvertorech, v martinských pecích, elektrických pecích nebo ve vakuu. Podle použití, vlastností a složení jsou dle ČSN 42 0002 rozdělovány do tříd. Základní rozdělení je: oceli k tváření neboli ingotové a oceli na odlitky. Rozdělení ocelí dle tříd je uvedeno na Obr.3:

Oceli	K tváření	konstrukční	běžných vlastností	stavební	Třída 10
				strojní	Třída 11
			ušlechtilé	uhlíkové	Třída 12
				slitinové	Třída 13-17
		nástrojové	uhlíkové		Třída 19
			slitinové	nízkolegované	
				střednělegované	
	vysokolegované				
	Na odlitky	uhlíkové			Třída 26
slitinové			Třída 27-29		

**Obr. 3 – Tabulka rozdělení ocelí do tříd [2]**

### 1.1.2.1 Oceli k tváření [1], [2], [3], [4]

Oceli k tváření se odlévají do velkých kovových forem (kokily), odlitky jsou pak nazývány ingoty a mají tvar komolých jehlanů nebo kuželů. Jsou to oceli určené ke zpracování tvářením. Podle užití se dělí na konstrukční a nástrojové.

**Konstrukční oceli k tváření** se využívají na stavební a strojní konstrukce a strojní součásti (šrouby, ložiska, hřídele). Konstrukční oceli pak mohou být tzv. **oceli běžných vlastností** (jakostí), které mají zaručené pouze hlavní mechanické vlastnosti, ale nezaručené chemické složení. Obsah uhlíku je zde nízký, oceli jsou dobře svařitelné. Jsou to oceli třídy 10 (stavební – výztuže do betonu, dráty) a třídy 11 (strojní – méně namáhané šrouby, matice, čepy). Druhou skupinou konstrukčních ocelí jsou **oceli ušlechtilé** vyráběné náročnějším technologickým postupem, tudíž jsou zaručeny jak mechanické vlastnosti oceli, tak i její chemické složení. Tyto oceli zastupují třídu 12 (*uhlíkové*, jenž jsou slitinami železa s uhlíkem, popř. malým normovaným množstvím příměsí) a třídu 13-17 (*slitinové*, za ty se považují oceli s přesně předepsaným obsahem Mn 0,9 %, Si nebo Ni 0,5 %, Cr 0,3 %, W nebo Co 0,2 %, Mo, V nebo Ti 0,1%).

*Uhlíkové oceli* se posuzují podle obsahu uhlíku, do 0,25 % C se jedná o nízkouhlíkové (vhodné na konstrukce), od 0,25 do 0,6 % C středněuhlíkové a nad 0,6 % C vysokouhlíkové (velmi dobře kalitelné, oceli nástrojové a rychlořezné). Podle obsahu uhlíku se přiřazují uhlíkovým ocelím různé druhy tepelného zpracování. Od 0,06 do 0,2 % C je vhodné cementování a následné kalení, vznikají oceli na povrchu tvrdé (cementováním se zvýší obsah uhlíku na povrchu) a jádro je houževnaté. Jsou užívané k výrobě hřídelů a ozubených kol. Oceli o obsahu uhlíku mezi 0,25 a 0,7 % jsou zušlechtitelné (kalené a následně popuštěné při teplotě 550-650 °C, chlazené do vody). Vyrábí se z nich namáhané součásti, jako jsou ojnice, páky. K povrchovému kalení jsou vhodné oceli od 0,4 do 0,6 % obsahu uhlíku, materiál je opět na povrchu tvrdý a v jádře houževnatý. Vyrábí se z ní ozubená a řetězová kola.

Využití *slitinových konstrukčních ocelí* je děleno podle tříd. Třída 13 se užívá v elektrotechnice, při výrobě pružin, ozubených kol, díky obsahu křemíku má ocel vysokou mez únavy a vydrží tak dynamické opakující se namáhání. Třída 14 se užívá k cementování (výroba součástí do letadlových motorů) a zušlechťování (namáhané parní turbíny, spalovací motory). Třída 15 má značné množství legujících prvků, oceli mají tedy dobré mechanické vlastnosti, vysokou pevnost a hodnotu meze kluzu. Jsou vhodné pro součásti parních turbín a výrobu tlakových nádob. Třída 16 jsou oceli dobře kalitelné do velkých hloubek, užití mají v nejnamáhavějších součástech energetických strojů. Třída 17 má vysoké procento legujících

prvků, je jich velké množství druhů např. korozivzdorné, žáruvzdorné, speciální. Vyrábí se z nich chirurgické nástroje, součásti pecí, zařízení skláren, zařízení pro jadernou energetiku.

**Nástrojové oceli k tváření** se využívají na výrobu obráběcích (vrtáky, nože, frézy) a tvářecích nástrojů. Tyto oceli jsou uhlíkové a slitinové. **Uhlíkové** mají obsah uhlíku nad 0,8 %. Jsou vhodné pro výrobu nástrojů pro ruční a strojní obrábění. **Slitinové** se dělí podle obsahu legujících prvků: do 2,5 % legujících prvků jsou to nízkolegované, od 2,5 do 5 % se hovoří o středně legovaných, od 5 do 10 % výše legované a nad 10 % přísadových prvků vysokolegované oceli. Využití mají tam, kde uhlíkové oceli nevyhovují, jelikož mají větší prokalitelnost a odolnost proti otěru. Jak uhlíkové, tak slitinové patří do třídy oceli 19.

#### 1.1.2.2 Oceli na odlitky [1], [2], [3], [4]

Oceli na odlitky se v hutích odlévají přímo do slévárenských forem (odlitky požadovaných tvarů) nebo do jednoduchých forem (dále se zpracovávají). Obsah uhlíku nesmí přesáhnout 2,14 %, obsahuje i jiné prvky jako křemík, mangan, chrom. Dělí se na oceli na uhlíkové odlitky a slitinové odlitky.

Oceli na odlitky – uhlíkové mají obsah uhlíku do 0,6 %, vyrábí se z nich tvarově složitě součásti motorů, tělesa armatur a kluzná ložiska. Tyto oceli patří do třídy 26.

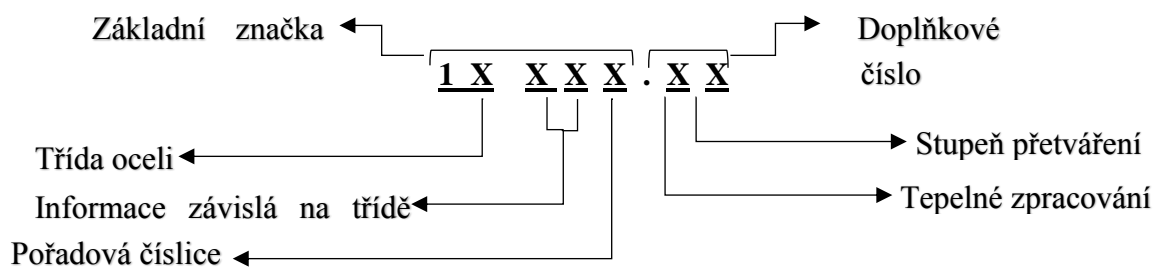
Oceli na slitinové odlitky mohou být:

- Oceli na slitinové odlitky nízkolegované nebo střednělegované, ty jsou legovány manganem, křemíkem, chromem a užívají se u armatur či ozubených kol. Využitím dalších legujících prvků mohou být i žárovepevné a otěruvzdorné. Pokud jsou lité do pískových forem, značí se třídou 27, odlévají-li se jinak, jsou značeny třídou 28.
- Oceli na slitinové odlitky vysokolegované – legovány hlavně chromem, niklem, jsou korozivzdorné (lopatky turbín), žáruvzdorné (součásti kotlů), žárovepevné, mají nízký obsah uhlíku. Označují se třídou 29.

#### 1.1.2.3 Značení ocelí [1], [2], [3], [5]

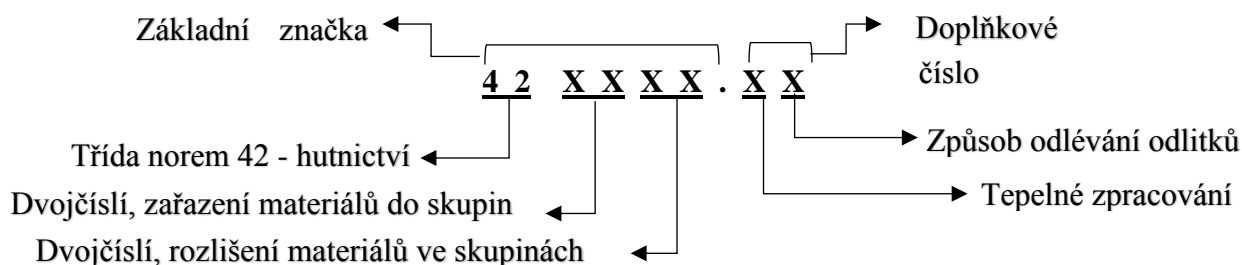
K označení ocelí se dle ČSN EN 10020 používají číselné označení pro oceli k tváření, tj. oceli třídy 10-19, vyjma třídy 18, která není ve značení zastoupena. Pro oceli na odlitky, tj. oceli třídy 26-29 se užívá značení dle ČSN 42 0006. Novodobějším označováním ocelí podle normy EN 10027 je značení pomocí symbolů.

Číselné označování **ocelí k tváření** dle ČSN EN 10020 (42 0002). Značka je složena z pětímístného čísla a doplňkového čísla, které je odděleno tečkou. První číslice je vždy 1, která značí, že se jedná o ocel tvářenou. První dvě číslice udávají třídu oceli, třetí a čtvrtá číslice nabývají různého významu (například udává nejmenší či střední pevnost v tahu, součet obsahu přísadových prvků, střední obsah uhlíku), podle třídy oceli. Pátá číslice je pořadová číslice, touto číslicí se rozlišují jemněji oceli, pokud mají stejný obsah uhlíku či jiného prvku, u třídy ocelí 19 má význam způsobu výroby oceli. Doplňkové číslo může být jednočíselné nebo dvoučíselné. První číslice doplňkového čísla udává stav oceli z pohledu tepelného zpracování, druhá číslice je pak stupeň přetváření, který je dán výrobou polotovaru. Schéma číselného značení je uvedeno na Obr. 4:



**Obr. 4 – Schéma číselného značení ocelí k tváření [4]**

Značení *ocelí na odlitky*, podle výběru z ČSN 42 0006, tvoří šestimístné číslo, popřípadě doplněné o dvoumístné doplňkové číslo za tečkou. První dvojčíslí bývá dle třídy norem pro hutnictví číslo 42. Druhé dvojčíslí zařazuje materiály do skupiny, rozlišuje, o jakou ocel na odlitky se jedná. Třetí dvojčíslí tyto materiály ve skupinách rozlišuje, u uhlíkových ocelí značí, pokud jsou odlévány jinak než do pískových forem 00-29, nebo udává přibližnou hodnotu meze pevnosti v tahu 30-99 v MPa. U slitinových ocelí pak značí skupiny legujících prvků. Doplňkové číslo, první číslicí bývá opět, jako u ocelí k tváření, dán stav materiálu v závislosti na tepelném zpracování, druhou číslicí je značen způsob odlévání odlitků. Schéma číselného značení je uvedeno na Obr. 5:

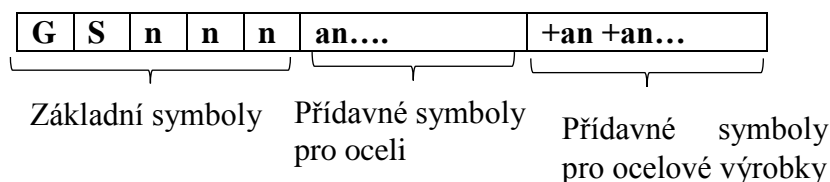


**Obr. 5 – Schéma číselného značení ocelí na odlitky [4]**

Podle normy EN 10027-1 a EN 10027-2 se mohou oceli značit pomocí symbolů, využívá se písmen a přídatných symbolů číselných značící vlastnosti oceli.

**Označení podle použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností.** První písmeno značky udává, o jakou ocel se jedná z hlediska použití. Ocel pro ocelové konstrukce je značena písmenem S, ocel pro tlakové nádoby písmenem P, ocel na potrubí písmenem L, oceli na strojní součásti písmenem E, oceli na kolejnice písmenem R, ploché výrobky z výšepevných ocelí písmenem H, obalové plechy a pásy písmenem T, a další. Přičemž před písmenem udávající informaci, že se jedná o ocel pro ocelové konstrukce nebo ocel pro tlakové nádoby se může předepsat i symbol značící ocel na odlitky, písmeno G. Za symbolem oceli se uvádí zpravidla tři číslice, které udávají minimální hodnotu meze kluzu v N/mm<sup>2</sup>. Za základním symbolem se připojuje přídatný symbol poskytující informaci o jejich tepelném zpracování. Následuje poslední přídatný symbol pro ocelové výrobky, kterému se předepisuje znaménko „+“, po které následuje informace o zvláštních požadavcích či tepelném zpracování, anebo o druhu povlaku. Schéma značení je uvedeno na Obr. 6:





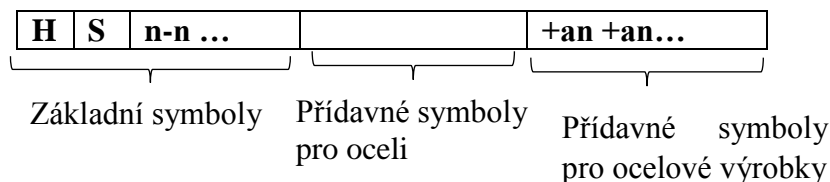
**Obr. 6 – Schéma symbolového značení ocelí – příklad pro značení ocelí pro ocelové konstrukce [5]**

**Označení podle chemického složení** pro nelegované oceli se středním obsahem manganu pod 1 %. Prvním symbolem je písmeno C, které značí výskyt uhlíku. Před tímto symbolem opět může být zaznačeno, že se jedná o ocel na odlitky. Po symbolu značící uhlík je psána číslice uvádějící stonásobek střední hodnoty obsahu uhlíku. V přídavném symbolu je předepsán obsah síry, popřípadě na co je ocel využitelná. Mohou se opět předepsat i přídavné symboly pro ocelové výrobky, poskytující informaci o tepelném zpracování.

Pro nelegované oceli se středním obsahem manganu nad 1 % a legované oceli s obsahem legujících prvků pod 5 % se užívá podobného značení. Nepředepisuje se symbol C (uhlík), přímo se píše číslice, uvádějící stonásobek jeho střední hodnoty obsahu. Případně se opět může předepsat informace, že se jedná o ocel na odlitky. Po obsahu uhlíku následuje chemické značení legujících prvků a číslice oddělené čárkou (n-n) odpovídající střednímu obsahu tohoto prvku vynásobenému příslušným koeficientem. Přídavné symboly pro ocelové výrobky se mohou také předepsat.

Legované oceli se značí stejně jako v předešlém případě. Rozdíl je pouze v tom, že se předepisuje před obsah uhlíku písmeno X udávající informaci, že se právě jedná o ocel se středním obsahem minimálně jednoho legujícího prvku nad 5 %. Další rozdíl je, že se v číslici oddělené čárkou neudává střední obsah legujícího prvku vynásobený koeficientem, nýbrž střední obsah zaokrouhlený na nejbližší vyšší číslo.

Rychlořezné oceli mají počáteční symbol HS (z anglického slova „high speed“). Poté se předepisuje obsah legujících prvků opět oddělených čárkou, a to v přesném pořadí wolfram, molybden, vanad, kobalt. Chemické značení se tedy nepřipisuje, pořadí je dáno normou. Dále se předepisují přídavné symboly a přídavné symboly pro ocelové výrobky jako v předešlých případech. Schéma značení je uvedeno na Obr. 7:



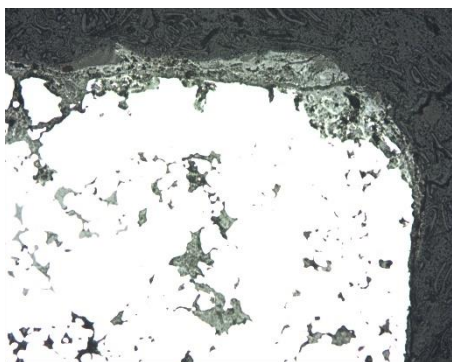
**Obr. 7 – Schéma symbolového značení ocelí – příklad pro značení rychlořezných ocelí [5]**

## 2 Porušování povrchů [6], [7]

Materiály jsou při použití namáhány jak mechanicky, tak i vlivem prostředí, vysokých teplot, vzájemnou interakcí. Dochází tedy k jejich porušování. Proto je velice výhodné povrch upravit povlakem, což je souvislá chemicky vyloučená nebo nanesená vrstva určitých požadovaných vlastností. Odolnost povrchové vrstvy nebo povlaku je určována jeho typem, složením, či tloušťkou, strukturou a jakostí spojení povlaku se základním materiálem. Ochranná schopnost povlaku se přitom neztrácí náhle, po překročení životnosti povlaku je koroze pomalejší než u nechráněného kovu a až později dosahuje rychlosti nechráněného kovu. V dalším textu jsou uvedeny základní procesy spojené s porušováním povrchů.

### 2.1 Koroze [1], [6], [7], [11], [12], [13]

Koroze je samovolně probíhající nevratný proces, postupné rozrušování materiálu kovů následkem chemické a fyzikálně-chemické reakce s okolním prostředím. Poškození může být od změny vzhledu povrchu až do úplného rozpadu (degradace) součástky. U kovů je příčinou koroze hlavně jejich termodynamická nestabilita v okolním prostředí. Koroze se projevuje úbytkem materiálu a tvorbou korozních produktů (materiál ztrácí pevnost, tažnost, vznikají mikrotrhliny), nebo se projeví poškozením struktury (korozní praskání). Mikroskopický pohled na železnou střílku napadenou korozí je vyobrazen na Obr.8., kde je vidět, jak korozní produkty rozrušily celistvý povrch a prostoupily dále do materiálu.



**Obr. 8 – Mikroskopický pohled  
(zvětšení 200x) na roh střílky  
napadený korozí**

Mikroskopický pohled na železnou střílku napadenou korozí je vyobrazen na Obr.8., kde je vidět, jak korozní produkty rozrušily celistvý povrch a prostoupily dále do materiálu.

Nejlepšími povlaky proti korozi jsou galvanické povlaky a to niklové, cínaté a měďnaté (popř. zinkové a chromové), které tvoří bezpórovité vrstvy.

Podle vzniku nebo charakteru probíhajících dějů se dělí koroze na:

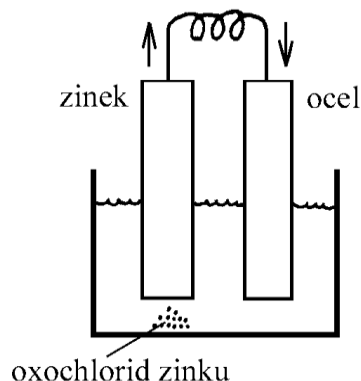
- Chemickou (v elektricky nevodivých prostředích)
- Elektrochemickou (v elektricky vodivých prostředích)

#### 2.1.1 Chemická koroze [6], [7], [11], [13]

Probíhá v plynech za vysokých teplot, ve spalínách tuhých nebo kapalných paliv, v elektricky nevodivých kyselinách a vzduchu s kyslíkem. Prostředí působí přímo na kov či slitinu. Je charakteristický vznik vrstev korozních produktů na povrchu materiálu. Nejčastějším druhem chemické koroze je právě oxidace kovu kyslíkem. Kov přichází o své valenční elektrony, produktem této reakce jsou korozní produkty tvořené oxidy kovů (nebo příp. uhličitany, sírany, chloridy). Kov pokrývá vrstvička kysličníku a je tak oddělen od korozního prostředí. Vrstva kysličníku může kov chránit před další korozí (jeli rovnoměrně po celém povrchu kovu), nebo může naopak prostupovat dále materiálem. Zda bude vrstva kysličníku kov chránit závisí na tzv. Pillingově-Bedworthově poměru mezi molekulovou hmotností násobenou hustotou oxidu a atomovou hmotností násobenou hustotou materiálu. Podle tloušťky se dělí vrstva kysličníku na tenké (do 40 nm), střední (do 500 nm) a tlusté (od 500 nm). Za zvyšování teplot (ohřev oceli, kde vrstva oxidů vzniká již při 250 °C) vrstva kysličníku narůstá rychleji, až se začnou vytvářet okuje (při 600 °C) tvořené převážně oxidem železnatým (FeO), rychlost koroze se přitom postupně zmenšuje. Při zvyšování objemu korozního produktu dochází k porušení celistvé vrstvy a jejímu praskání a odlupování.

### 2.1.2 Elektrochemická koroze [6], [7], [11], [13]

Probíhá ve vodných roztocích solí kyselin a zásad, v užitkových vodách, v zemi (vlhkost půdy působí jako elektrolyt). Způsobena elektrochemickými reakcemi, umožněna existencí iontů, vzniklých disociací korozního prostředí – koroze při styku kovů s elektrolytem. Jakmile se ponoří kov do vodného prostředí stává se elektrodou. Jedná se o rozrušování kovů, kovy mají rozdílný potenciál, přičemž vzniká elektrický proud. Podmínkou je přítomnost elektrolytu, což jsou elektricky vodivé roztoky nebo taveniny. Pro elektrochemickou korozi není nutné, aby elektrolyt působil na dva kovy vodivě spojené tvořící tzv. korozní člunek. Nejjednodušší případ je galvanický člunek tvořen např. zinkem a mědí, dvěma kovy s rozdílnými potenciály ponořenými do kyseliny solné (elektrolytu). Vlivem proudu se zinek rozpouští, probíhá jeho oxidace (koroduje), nabíjí se záporně (anodická reakce) a jeho kladné ionty přechází do roztoku. Měděná katoda zůstává bez porušení (katodická reakce), přitahuje na sebe pouze kladně nabitě ionty roztoku (probíhá redukce). Vzniká zde potenciální rozdíl mezi kovem a určitou srovnávací elektrodou (volí se vodík), velikost rozdílu potenciálů je mírou hnací síly korozního procesu. Posuzují se potenciální řady napětí kovů, jejich ušlechtilost. Kovy s vyšším napětím jsou ušlechtilé (katoda), kov s nižším napětím je méně ušlechtilý (anoda). Méně ušlechtilý kov tedy přítomností elektrolytu koroduje, zatímco více ušlechtilý kov zůstává bez porušení. Potenciály, které jsou nižší, jsou elektricky negativní, a právě ty s nejzápornějším potenciálem mají nejnižší korozní odolnost (vyšší termodynamickou nestabilitu). Se snižujícím se záporným potenciálem, či zvyšujícím se kladným, odolnost vůči korozi roste. Elektrochemická koroze zinku a ocele je zobrazena na Obr.9.



**Obr. 9 – Elektrochemická koroze zinku se železem [13]**

Koroze železa roste při zvyšujícím se podílu kyslíku ve vodě a spočívá ve vytvoření železnatých iontů, kdy železo má záporný potenciál  $-0,44$  V. Kyslík v první řadě působí jako katoda, poté se podílí na pasivaci (tvorba ochranné vrstvy proti korozi) povrchu železa. Nelegované a nízkolegované oceli mají obecně malou odolnost vůči korozi, při vyšší teplotě a přítomnosti halogenidů navíc ztrácí schopnost pasivovat povrch. Kalitelné martenzitické oceli mají horší korozní odolnost než feritické korozivzdorné oceli a ty zase menší odolnost než austenitické korozivzdorné oceli. U korozivzdorných ocelí je nejčastější šterbinová nebo bodová koroze kvůli výskytům poruch na povrchu, nebezpečná je pak mezikrystalová koroze. Rovnoměrná koroze se vyskytuje především u nízkouhlíkových nelegovaných ocelí. Korozní praskání se u ocelí vyskytuje v rozmezí teplot  $50-150$  °C.

Podle vzhledu je koroze: rovnoměrná (probíhá stejně po celé ploše) a nerovnoměrná koroze (některá místa mohou být bez napadení).

Podle druhu napadení:

- Rovnoměrné – rovnoměrný úbytek materiálu po celé ploše, je nejpříznivější z hlediska spolehlivosti
- Důlkové – vznik lokálního poškození pasivní vrstvy v prostředích obsahující ionty chloru, nebezpečný typ, vede až k proděravění stěn, obdobně vzniká bodová koroze
- Šterbinové – objevuje se v jemných kapilárách, při styku dvou ploch kovů je mezi nimi úzká šterbina, vznik místních rozdílů v koncentraci kyslíku

- Mezikrystalická – při odlišném složení hranic zrn proti objemu zrna, koroze pouze po hranicích zrna a do hloubky (není zde hmotnostní úbytek), není vidět pouhým okem
- Transkrystalická – velice nebezpečné, jelikož není viditelné pouhým okem, jedná se o lom zrn napříč a do hloubky skrz vlastní zrna (podobná mezikrystalické korozi)
- Selektivní – napadá jednu nebo více fází slitiny tvořené různými strukturami

Podle korozního prostředí:

- Atmosférická – elektrochemická koroze, nejčastější druh koroze, vliv mají spolupůsobící vlhkost, teplota vzduchu a jeho znečištění, probíhá pod velmi tenkou vrstvou vody nasycené složkami atmosféry, vodní film vzniká kondenzací vodních par, kyslík urychluje korozi, při nízkých teplotách koroze ustává, při vysoké teplotě vzrůstá jak koroze, tak i její rychlost
- V kapalinách – elektrochemický děj, největší význam má koroze ve vodách, míru agresivity udává tvrdost vody a její pH, vliv na rychlost děje mají kavity, nečistoty, mikroorganismy, největší význam má však přítomnost a obsah kyslíku ve vodě
- V plynech – plynné prostředí působí na kov za vzniku chemických sloučenin, chemický děj, vliv má teplota (v praxi důležitá problematika koroze v plynech za vysokých teplot) a tlak
- V půdách – koroze v roztocích elektrolytů, půda je tvořena fází plynou, kapalnou i tuhou, elektrická vodivost je dána právě kapalnou fází půdy

## 2.2 Opotřebení [6], [12]

Druhým případem porušení povrchu je mechanické opotřebení materiálu. Dochází k němu při vzájemném styku a relativnímu pohybu těles. Ovlivňuje spolehlivost a životnost součástí. Opotřebení může vést i ke zmenšování průřezů v nebezpečných místech. Růst opotřebení se projevuje hlukem, rázy, zvýšením třecích sil. Při opotřebení se odstraňují či přemisťují částice hmoty z povrchu. Namáhání se projevuje mikroplastickou deformací (zatlačení tvrdší částice do měkčího povrchu), únavou vrstev při cyklickém rázovém zatížení, vznikem oxidů (podporován mikroplastickou deformací a vlivem zvýšené teploty), změnou struktury, aktivací povrchových vrstev materiálu. Mimo oxidační jsou to mechanismy spojené s tvorbou trhlin, které vedou k oddělení částí povrchu. Je tedy nezbytné zlepšovat odolnost proti otěru a potlačit jejich vznik a šíření. Časová rychlost otěru závisí hlavně na působící tlakové síle, velikosti kontaktní plochy a drsnosti plochy. Opotřebení (úbytek objemu materiálu) se však většinou nemění lineárně. Výrazným faktorem dvou pohybujících se těles je tření. Tření je odpor proti pohybu vznikající mezi tělesy v oblasti styku jejich povrchů. Síla, která udržuje těleso v pohybu, je vzhledem k třecí síle orientovaná záporně. Vznikají deformace na povrchu, které nemusí být vždy pružné, ale často dojde i k plastickému přetvoření. V praxi jsou stykové plochy odděleny mazivem. V místě kontaktu povrchů může dokonce vzniknout mikrosvar (projev adheze), nebo dochází k rytí výstupem jedné plochy do druhé (projev abraze). Postupně dochází ke změnám tvaru a rozměrů třecích ploch. Proti opotřebení se aplikují povlaky zároveň stříkané, s obsahem síry.

### 3 Povrchové úpravy [6], [8], [13]

Železo je kov náchylný ke korozi, takže bez patřičných povrchových úprav má tendenci ve vlhkém prostředí korodovat. Pokud je navíc na větrném prostředí, má na rychlost koroze vliv i znečištění ovzduší. Stykem s prostředím tedy kovy korodují a mohou nastat dvě situace, buďto okysličený povrch ochrání spodní vrstvy před další korozí, anebo bude okysličování postupovat do hloubky a kov rozruší. Také vzájemným stykem strojírenských výrobků dochází k jejich povrchovému opotřebení. Proto je zapotřebí povrch kovů patřičně upravit, podle požadovaných výsledných vlastností.

Povrchové úpravy se podílí na výsledné jakosti výrobku či zařízení. Používají se pro dosažení určitých vlastností, které základní kov nemá např. tvrdost, otěruvzdornost (mechanické vlastnosti) či korozní odolnost (chemické vlastnosti). Ovlivňuje jak jeho životnost, tak i spolehlivost (oboje ochranný povlak zvyšuje), využitelnost. Ovlivňuje funkčnost a vzhled, chrání danou součást proti vnějším vlivům. Aplikací povlaku se snižují výrobní náklady, zvyšuje se úspora materiálu (omezuje korozi a jiné destrukční děje) i energií. Povrchové úpravy tedy především znamenají nanesení povlaků různých materiálů na základní materiál. Správný výběr ochrany vyplývá ze zhodnocení všech technických, ekonomických a ekologických hledisek. Patřičná kontrola kvality povrchů je velice významná. Jedním z parametrů kvality je i tloušťka povlaků. Například u součástek užitých v interiéru mnohdy postačí minimální ochranná vrstva, v exteriéru je třeba být důkladnější.

Úpravy povrchů jsou důležité z pohledu ochrany proti korozi a z požadavků na vlastnosti jako je tvrdost, oděruschopnost, kluznost, životnost, odolnost vůči vysokým teplotám nebo pro zisk elektrické vodivosti. Využívají se, ale i pro zlepšení dekorativních vlastností jako je lesk nebo odstín. Proces povrchových úprav má 3 fáze:

1. Provedení vhodné předúpravy povrchu před nanášením povlaků.
2. Nanesení povlaku za použití vhodné techniky a za vyhovujících podmínek (teplota, vlhkost).
3. Dostatečné zaschnutí povlaku nebo nátěrového filmu, případné doleštění nevzhledných povlaků.

#### 3.1 Předúpravy povrchů [6], [8], [9], [12], [13]

Předběžnými úpravami povrchu se připravuje povrch materiálu pro aplikaci povlaku, tyto úpravy však mohou být i dokončovací operací. Jde o důležitý proces, pokud se dále materiál povlakuje, musí být zcela zbaven mastnoty a nečistot, rzi a povrch musí být aktivován. Na očištěný a odmaštěný povrch pak povlaky lépe ulpívají a rychleji usychají. Mastná či oxidická vrstva na povrchu oddaluje vyloučený povlak od základního materiálu a síla, kterou se povlak přidrží k tomuto materiálu se tedy snižuje a přilnavost je nízká. Pokud by povrch nebyl očištěn mohlo by dojít k nevyhloučení povlaku, případně by šlo o nekvalitně vyloučený povlak špatně přilnutý k základnímu materiálu, pórovitý, málo korozivzdorný, drsný.

**Mechanickými úpravami** povrchu se dodává dané součástce požadované jakosti a kvality povrchu (drsnot). Úkolem je očistit povrch od nečistot jakými jsou korozní produkty a oxidické vrstvy, vytvořit podmínky pro zvýšení odolnosti vůči korozi a opotřebení, zlepšit mechanické vlastnosti. Pro korozně odolný povlak je důležité získat výsledný povrch hladký, nepórovitý, bez trhlin. Nerovnosti by se totiž povlakováním jenom více zviditelnily a kvůli pórům by nemohl vzniknout souvislý povlak. Drsnost povrchu pro daný povlak je dána, např. pro nikl nemá být drsnost větší než 0,4  $\mu\text{m}$ , pro zinek více než 1,6  $\mu\text{m}$ , pro měď více než 0,4  $\mu\text{m}$ ,

pokud má být výsledný povlak menších tlouštěk než 15  $\mu\text{m}$ . Je hned několik druhů mechanických úprav. Základními jsou broušení, leštění, kartáčování, otryskávání, omílání.

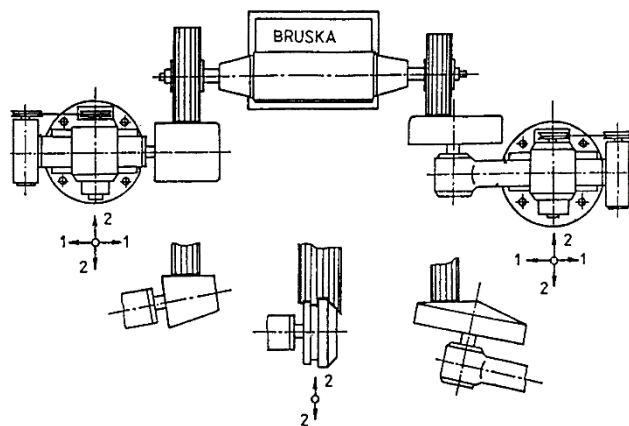
**Chemickými úpravami** se odstraňují hlavně nečistoty ulpělé na povrchu během výrobních procesů. Jedná se například o mastné látky, kovové nečistoty, korozní zplodiny. Úpravy spočívají ve vzniku interakce mezi chemickým činidlem a znečištěným povrchem kovu. Základní charakteristikou těchto úprav je, že probíhají v kapalném prostředí (v lázních, zpravidla v kyselinách nebo rozpouštědlech). Po tomto druhu úpravy je výsledný povrch velmi náchylný ke vzniku korozních produktů, proto většinou následují operace jako neutralizace a pasivace. Chemické úpravy předcházejí pokovování nebo vytváření organických povlaků. Využívá se hlavně úprav typu odmašťování a moření.

### 3.1.1 Broušení [6], [8], [12], [13]

Broušení je hrubé obrušování povrchů přitlačováním brousícího nástroje k základnímu materiálu. Sjednocuje se kvalita povrchu, odstraňuje se nepravidelnost, oxidové vrstvy a rez. Postupně se užívá jemnějších brusných prostředků. Kov se vlivem zvýšené teploty při broušení stává plastický. Hrubé broušení (hrubování) se provádí za sucha a obrušuje větší kus plochy, u jemného broušení (vyhlazování) se přivádí mazivo (tukové pasty s obsahem brusiva) a obrušuje se menší kus plochy. Využívá se buďto ruční nebo strojní broušení. Ručním broušením se obrušuje pomocí smirkových papírů. Smirkové papíry se dělí podle zrnitosti, čím větší zrna, tím hrubší je papír a odebírá se více povrchového materiálu. Takto se odstraňují jemně vyvýšené detaily a tvoří se celistvá plocha. Velice obdobně působí i strojní broušení. Neužívá se však smirkových papírů, ale kotoučů, na nichž je řada překrývajících se čtverečků. Jde o drastičtější způsob úpravy povrchů. Materiál je zrna vytrháván pryč, ubírají se třísky, po kterých zůstávají v základním materiálu rýhy. Zrna musí být z tvrdšího materiálu, než je základní kov, užívá se smírek, korund, karborundum. Takto se upravují hrany nebo otřepy. Hrubováním se upravují litiny s lupinkovým grafitem, svarky a výkovky. Vyhlažování se aplikuje na ocel, která se dále galvanicky pokovuje. Optimální rychlosti u broušení je 30-35 m/s. Platí, že pro tvrdší materiál, není zapotřebí tak vysokých obvodových rychlostí (u oceli se volí menší než u hliníku).

### 3.1.2 Leštění [6], [12]

Leštěním nastává velice malý úběr materiálu, navíc dochází vlivem tepla, vzniklého třením zrn o základní materiál, k plastické deformaci povrchu. Tím vzniká tenká vrstva, která zalévá rýhy a nerovnosti. Užívá se jemnějších kotoučů než při broušení. Dosahuje se lesklého



Obr. 10 – Stroje a přípravky pro broušení a leštění [6]

vzhledu povrchové vrstvy kovu, snižuje se drsnost plochy. Užívá se leštících past (např. oxid hlinitý, oxid železitý), jejichž součástí jsou abrazivní látky. Tyto látky jsou oxidy nejčastěji chromu, železa či hliníku. Pokud je materiál předleštěván, užívá se ostřejších past, tvrdších kotoučů a vyšších úhlových rychlostí. Naopak pokud se daný materiál dolešťuje, tak se využívá jemnějších past, měkčích kotoučů a nižších úhlových rychlostí. Leštění je požadováno před pokovováním niklem, mosazí či stříbrem. Optimální rychlosti u leštění je 35-40 m/s.

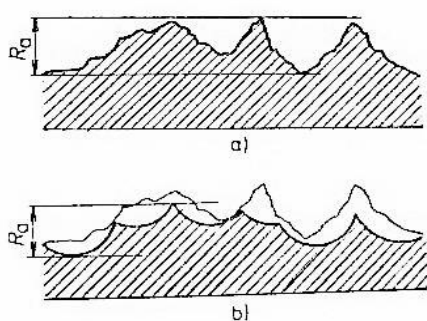
Brousíci a leštící stroji jsou stojanové brusky (Obr.10), na hřídeli jsou nasazené kotouče a hřídel je poháněna motorem nebo řemenovým převodem. Strojem může být i brousící automat, který pracuje mechanicky za stálých podmínek a uchycení předmětu spočívá v jeho přitlačení ke kotouči. Jak broušení, tak i leštění jsou však nákladnou operací. Volí se tedy pouze v případě, kdy jsou dány vysoké nároky na jakost povrchové vrstvy.

### 3.1.3 Kartáčování [6], [8], [12]

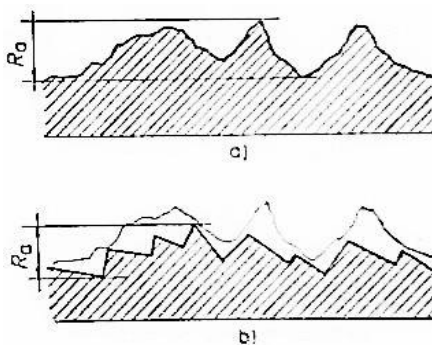
Kartáčování je operací, kdy se odstraňují hrubé nečistoty (např. rez), může se jím však i zjemňovat a sjednocovat povrchy před samotným leštěním, snížit drsnost povrchu. K odstranění hrubých nečistot je zapotřebí rotačních kartáčů z ocelových drátů. K pouhému zjemnění povrchu se užívá měkkých rotačních kartáčů z přírodních a umělých vláken. Užívá se brousících past, které jsou přichyceny na vláknech kartáče, tyto pasty se před samotným pokovováním odstraňují pomocí vídeňského vápna. Kartáčování opět může být ruční a strojní, může se užívat na součásti rozličných tvarů a aplikuje se před galvanickým pokovováním.

### 3.1.4 Otryskávání [6], [8], [9], [12], [13]

Otryskávání je nejvhodnější povrchovou úpravou ocelových povrchů, odstraňuje se jím jak rez, tak i okuje. Úběrem materiálu vzniká vhodná drsnost a kovově čistý povrch, zpevňuje se povrch. Může se jej využít k dekorativním účelům pro získání matného povrchu. Z povrchu se odstraňují korozní produkty, písek, aj. K tryskání se používají abrazivní částice dopadající velkou rychlostí na povrch materiálu. Proces je tedy závislý především na kinetické energii, tvaru a druhu tryskacího materiálu. Tryskací hmoty mohou být litinové drtě, písek, různá brusiva (pro oceli se doporučuje hnědý korund). Ostrá, tvrdá zrna vysekávají částice z povrchu materiálu. Pokud jsou zrna tupá, tak k úběru materiálu sice nedochází, avšak čistí se, a hlavně zpevňuje povrch materiálu. Na Obr. 11 je vidět stav povrchu po otryskání tupými zrny, na Obr. 12 otryskání ostrými zrny. Zpevnění se děje na základě povrchových pnutí na povrchových vrstvách. U oceli se otryskáváním může také zmenšit podíl zbytkového austenitu (příznivé). Někdy je třeba před tryskáním povrch odmastit. Tryskáním totiž mastnotu a rozpustné sole nelze odstranit, je zapotřebí užít vysokotlakého vodního paprsku s přídavkem látek, které podporují odstranění rozpustných solí. Otryskávání se volí jako úprava povrchu před metalizací, nanášením nátěrů, povlaků z plastů a pryží. Užívá se buď tryskání vzduchem (pneumatické), vodou (hydraulické) nebo metačím koly, kde je vlivem odstředivé síly tryskací prostředek unášen na konci lopatek. Pro měkké nebo tenkostěnné materiály se volí jemnější zrna s malým tlakem vháněným do trysky, pro tlustostěnné tvrdé materiály jsou vhodné hrubá zrna a vysoké tlaky.



**Obr. 11 – Povrch při otryskávání tupými zrny: a) stav před otryskáním, b) stav po otryskání [12]**



**Obr. 12 – Povrch při otryskávání ostrými zrny: a) stav před otryskáním, b) stav po otryskání [12]**

### 3.1.5 Omílání [6], [13]

Tato úprava se užívá především pro součásti malých rozměrů ve velkých sériích. Aplikuje se hromadně v omílacích zařízeních pomocí omílacích tělísek, kdy v bubnu o určitém průměru a otáčkách, po určitý čas za působení omílacích tělísek a omílacích kapalin (u mokrého omílání) dochází k úběru rzi a oxidických vrstev, zisku drsnosti povrchu, zaoblování hran, ale i ke zpevňování povrchu. U hrubého omílání dochází k broušení, užívá se tvrdších omílacích prostředků např. přírodních nebo umělých kamenů. U jemného omílání dochází k leštění povrchu. Zařízení mohou být rotační, vibrační nebo odstředivé. Omílání je výhodné z ekonomického hlediska, navíc je produktivnější, kvalitnější a jednodušší než ruční broušení a leštění.

### 3.1.6 Odmašťování [6], [9], [12], [13], [14]

Proces užíváný k odstranění mastnot a nečistot na povrchu. Tyto mastnoty ovlivňují ulpívání nátěru na materiálu a jeho zasychání negativním způsobem. Je třeba překonat vazebné síly působící v mastnotě a adhezni (příp. adsorbční) síly mezi mastnotou a základním materiálem. Smáčivost, nesmáčivost nebo neúplná smáčivost pak souvisí s povrchovou energií materiálu a kapaliny a mezifázovou energií. Používají se odmašťovací přípravky na bázi vody – vodní alkalická rozpouštědla (louh-hydroxid sodný). Při tomto procesu se mastnoty mění po chemické stránce, zmýdelňují. V první řadě se ztenčí vrstva mastnoty, která má nejmenší stykové napětí s fázovým rozhraním, dokud vznikne jen tenká vrstva mastnoty. V druhé fázi pronikne rozpouštědlo až do pórů k základnímu materiálu a mastnota přejde do odmašťovacího roztoku, kde je stabilizována proti znovu-připoutání. Čištění v alkalických rozpouštědlech se nehodí pro členité předměty s dutinami, je totiž těžké vypláchnout zbytky lázně a tím se může zapříčinit vzniku korozních produktů v daném místě. Při nečastém odmašťování lze použít i organická rozpouštědla, jako je technický benzín. Využívají se k ručnímu čištění rozměrných předmětů, které jsou silně nebo středně znečištěné. Jsou nejjednodušším typem odmašťování, oproti alkalickým rozpouštědlům jsou však dražší. Nelze je užít na vlhké povrchy, navíc likvidace organických rozpouštědel je obtížná, proto jsou z ekologického spíše nahrazovány. Rozpustnost mastnot se zvyšuje s vyšší teplotou, u organických rozpouštědel je rozpustnost nejvyšší při bodu varu. Aplikovat odmašťovací proces lze ponorem, postřikem, ultrazvukem či v páře. Jedním z ekonomických hledisek je snížit náklady za ohřev odmašťovací lázně, jelikož většina lázní působí až při teplotách 80 °C. Proto byly vytvořeny nízkoteplotní odmašťovací lázně, které mohou odmašťovat při teplotách 45-50 °C. Tyto lázně využívají proces tzv. bioremediace, který spočívá ve využití bioaktivních složek rozkládajících organické látky (nečistoty, mastnoty) a prodlužujících tak životnost lázně. Lze je přitom užít na silně znečištěné železné materiály i litiny.

### 3.1.7 Moření [6], [8], [9], [12]

Obzvláště u materiálů válcovaných za tepla vznikají na povrchu oxidy železa (okuje). Při tepelném zpracování vzniká rez působením atmosféry. Okuje se podrezavěním zvedají a tím negativně ovlivňují nátěry. Pro oceli je typický vznik okují tvořených třemi vrstvami oxidů, tloušťka vrstvy závisí na tepelném zpracování oceli. Mořením kyselina prochází do pórů a trhlin vrstvy, odleptává oxidickou vrstvu. Jde tedy o drastické čištění, po kterém následuje neutralizace povrchu v alkalických roztocích uhličitánů. Při moření vzniká vodík, který přispívá k odpadávání vrstvy okují, avšak zapříčiňuje vodíkovou křehkost. Atom vodíku vklíněný do mřížky oceli zvětšuje vzdálenost mezi atomy, vznikají velká vnitřní pnutí. Při moření se užívá inhibitorů, organických aktivních látek, které vytváří ochranný povlak bránící vniku vodíku do materiálu, zároveň snižují rychlost rozpouštění oceli, při zachování rozpustnosti okují. Největší vliv na proces má koncentrace (využívá se 10-20 % HCl, 25 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a teplota lázně



(nejčastěji 40-70 °C). Aby difuze vodíku nebyla tak velká užívá se u ocelí spíše kyselina chlorovodíková. S teplotou roztoku roste i rychlost moření a zvyšuje se vliv koncentrace kyselin na rychlost moření. Jde o nákladný proces, používá se ve velkovýrobě a nejčastěji se aplikuje ponorem (výjimečně postříkem). Nejčastěji se užívá kyselina sírová, která je jak levná, tak i poměrně šetrná k prostředí. Při užití kyseliny chlorovodíkové je povrch ocele méně napadán, užívá se před cínováním, smaltováním a galvanickými procesy. Příprava pro galvanické pokovování je navíc podpořena přípravnou aktivací povrchu neboli dekapováním, které opět probíhá v kyselém prostředí. Moření litin se uskutečňuje z důvodu přítomnosti zrněk písku na povrchu po odlévání a je provozováno v kyselině sírové nebo lépe v kyselině chlorovodíkové (pórovitý odlitek) s příměsí kyseliny fluorovodíkové.

## 3.2 Nanášení povlaků [6], [7]

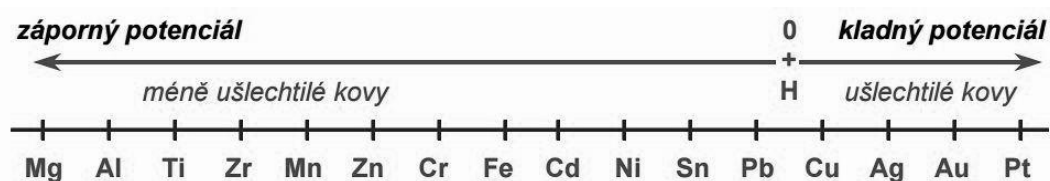
Povlaky jsou nanášeny zpravidla po předběžných úpravách, které vhodně připravily povrch materiálu. Nanášejí se povlaky různých typů materiálů a různými vhodnými technickými aplikacemi. Nejdůležitějším mezníkem z hlediska kvality vrstvy povlakového kovu je její ochrana základního kovu. Především pórovitost a tloušťka vrstvy mají rozhodující vliv, závisí především na úpravě povrchu základního kovu. Při větších tloušťkách povlaku roste životnost materiálu, snižuje se počet pórů, které by mohly být korozně nebezpečné. Základním rozdělením nátěrů jsou kovové, nekovové anorganické povlaky a organické povlaky.

### 3.2.1 Kovové povlaky [6], [7]

Materiál se povlakuje kovy, slitinami kovů, oxidy. Uplatňují se zejména hliník, měď, chrom, nikl, olovo, cín a zinek. Dekorativními povlaky jsou stříbrné či zlaté povlaky. Technickou aplikací může být: chemická redukce povlakového kovu - chemický povlak, elektrochemicky účinkem stejnosměrného proudu v galvanických lázních - galvanický povlak, ponořením do taveniny kovu - žárový povlak, stříkáním roztaveného kovu - metalizovaný povlak, difúzí atomů povlakového kovu do materiálu - termodifuzní povlak, fyzikální metodou ve vakuu, mechanicky naválcováním fólií.

#### 3.2.1.1 Chemické kovové povlaky [6], [7], [13]

Chemické kovové povlaky spočívají ve vytvoření tenké vrstvy chemické sloučeniny se základním materiálem. Není zapotřebí užívání elektrického proudu, proud je tvořen přímo v lázni rozdílem potenciálů základního kovu a roztokem soli povlakovaného kovu. Jde o vylučování ušlechtilějšího kovu na povrch méně ušlechtilého kovu. Na Obr. 13 lze vidět potenciálovou řadu kovů. Ze soli kovu je vyloučen pomocí redukčního činidla kov (redukuje se sůl kovu na kov). Rychlost procesu je dána hnací silou, která je určena rozdílností potenciálů. Rychlost je dále ovlivněna prostředím a zpomaluje se zvyšující tloušťkou vznikajícího povlaku. Proto je proces spíše vhodný pro tenké vrstvy. Vhodné jsou pro složité součástky se závitami a dutinami. Tyto povlaky se mohou tepelně zpracovávat a získat tím lepší vlastnosti např. větší tvrdost.



Obr. 13 – Seřazení kovů podle hodnot potenciálů [24]

**Mědění** se děje na základě chemické reakce. Pro ocel se aplikuje mědění ponorem do roztoku síranu měďnatého. Výsledná vrstva je měkká, využívá se pro mědění drátů před jejich tažením nebo při lisování plechů.

**Cínování** se využívá hlavně pro slitiny hliníku, případně mědi. Chemické cínování je pro aplikaci na železné kovy velice obtížné.

**Chromování** lze získat i u velice členitých předmětů rovnoměrný povlak. Povlak se vylučuje sice pomalu, ale má vynikající výsledné pružné a protikorozi vlastnosti. U železných kovů se nejdříve aplikuje měděný povlak, až poté se vyloučí povlak chromový. Jinak je chromování na železné materiály obtížné.

**Zinkování** je typické pro hliníkové materiály a je vhodné jako podvrstva pro galvanický povlak.

**Stříbření** se opět jako v případě chromování užívá až po nanesení měděného povlaku na železný kov. Získaný povlak může být elektrický vodivý, velice tenký. Užívá se spíše k dekorativním účelům.

**Niklování** je nejčastěji používaným způsobem chemického pokovování. Užívá se slabě kyselých niklovacích lázní. Zdrojem iontů jsou nikelnaté soli, k redukci těchto iontů na kov se užívají redukční činidla např. fosforan sodný nebo draselný. Užívá se také komplexotvorných činidel pro udržení pH lázně a také pro udržení niklu jako komplexu. Dále se používají urychlovače, pro aktivaci fosforanových iontů ke zvýšení vylučovacích vlastností, a stabilizátory zabráňující niklu vylučovat se na nečistotách lázně. Nesmí být, však stabilizátoru v lázni příliš jinak úplně zastaví proces vylučování. Vyloučený výsledný povlak je především sloučenina niklu a fosforu. Dbá se, aby porozita povlaku byla co nejmenší. Nikl skvěle přilne k základnímu kovu a působí protikorozně. Povlak se dá dále tepelně zpracovávat za účelem vyšší tvrdosti.

### 3.2.1.2 Elektrochemické kovové povlaky [6], [7], [13]

Elektrochemické kovové povlaky využívají galvanického vylučování iontu z elektrolytu (roztoky solí či taveniny) za působení stejnosměrného elektrického proudu. Elektrolyt se štěpí na kationty a anionty. Záporně nabití ionty mají nadbytek elektronů, zatímco kladně nabití ionty jich mají nedostatek. Vylučováním záporně nabitých aniontů dochází na kladné elektrodě (anodě) k jejich oxidaci a zvyšování kladného mocenství. Vylučováním kladně nabitých kationtů na záporné elektrodě (katodě) dochází k jejich redukci (přijímání elektronů). Elektrody u galvanických článků mají tedy opačné znaménko než elektrody při elektrolýze. Katodou je pokovovaný materiál, na němž se vyloučí kov, který je součástí elektrolytu (zinek ze  $\text{ZnSO}_4$ ). Úbytek kovu v elektrolytu je korigován anodou, kde oxidují atomy na kationty. Množství kovu v kovové soli je tedy doplněno o množství kovu rozpuštěného z anody. Opět platí pravidla vylučování řad potenciálu, tudíž že se předně vyloučí kov s kladnějším potenciálem (ušlechtilý), teprve později se vylučují ty s méně ušlechtilými potenciály. Při procesu se může vyloučit na katodě s požadovaným kovem i vodík (způsobuje vodíkovou křehkost), který má nulový potenciál, proto je zapotřebí kovů pouze ušlechtilých (elektropozitivních). Kdyby tomu bylo jinak, vodík by se na katodě zcela vyloučil a k vyloučení kovu by vůbec nedošlo. Je zapotřebí také míchání lázně, a to buď vzduchem, prouděním elektrolytu nebo pohybem součástí na katodových tyčích. Vkládání a aplikace povlaku může být různá. Ruční vkládání, zavěšování na rámečky, drobné předměty se zavěšují na zvony. Nejvhodnějším povlakováním drobných součástí je povlakování v bubnech. Pro hromadnou výrobu se nejlépe hodí předměty věsit na hromadné závěsy, kdy automatická linka pak posouvá předměty z lázně do lázně. Elektrochemické povlakování se také známěji označuje jako galvanické pokovování, jde o

složitý proces s řadou operací (odmašťování, oplach, odmašťování, oplach, moření, oplach, dekapování, pokovení, oplach, sušení). Pracovní podmínky jsou zde zásadní, záleží na teplotě lázně, hodnotách proudu a napětí, složení lázně, je zapotřebí odsávat výpary z lázně a čistit lázeň filtrací. Všechny tyto podmínky ovlivňují jakost vzniklé vrstvy pokovení.

**Mědění** se nejčastěji používá jako podkladová vrstva (3-30  $\mu\text{m}$ ) při niklování oceli či při dekorativním pokovování stříbrem a zlatem. Nejčastěji používané mědicí lázně jsou kyanidové a kyselé. U kyanidových lázní je nemožné vylučování mědi na oceli bez elektrického proudu. Vylučování je rychlejší při vyšší teplotě lázně. Pro pokovení se užívá iontů z kyanidu měďnosodného. Pokovením v kyanidových lázních lze získat jemnozrnné a vysoce přilnavé povlaky. Povlak je matný, pro větší lesk se používají leskutvorné přísady např. thiokyanatan draselný a vodní sklo. Kyselé lázně nemají tak velkou hloubkovou účinnost jako kyanidové lázně, avšak nejsou tak toxické a údržba lázní je jednoduchá. Nelze je však užít bez předešlé aplikace mědi z kyanidové lázně, případně bez niklové mezivrstvy. Bez elektrického proudu se vyloučí málo přilnavý práškovitý povlak. Kov se vyloučí z lázně síranu měďnatého. Výsledný povlak je matný, hrubozrnný. Měď chrání ocel pouze v případě, že se vyloučil nepórovitý povlak, jinak by docházelo ke korozi, právě v místě pórů. Mimo kov se vylučují i ionty chloridů, které určují vlastnosti povlaku. Chlorid zde působí jako inhibitor, avšak v určitém množství má pozitivní vliv na výsledný lesk povrchu.

**Mosazení** se dříve používalo k podobným účelům jako mědění, jako mezivrstva pro jiné povlaky. Dnes se užívá jen zřídka a spíše k dekorativním účelům. Povlak mosazných slitin je tenký a užívají se nejčastěji kyanidové lázně. Složení lázně ovlivňuje výsledný poměr zinku a mědi, což určuje i výsledné vlastnosti a barvu povlaku. Přilnavost povlaku je zhoršena obsahem organických látek a jiných kovů v lázni, je třeba je tedy z lázně eliminovat.

**Zinkování** se u ocelí užívá hlavně u součástí vystavených vodním nebo atmosférickým vlivům. Povlak zinku se pokrývá dále oxidem a uhličitánem zinečnatým pro zabránění vzniku koroze. Povlaky se vylučují přímo, není třeba mezivrstev. Povlak lze aplikovat působením různých lázní. V kyanidových lázních je zinek vázán v kyanidu zinečnatosodném a zinečnatanu sodném. Kyanidové lázně jsou nejvíce používané, povlak je jemný a rovnoměrný. Pokud se vedle zinku vyloučí i jiný kov lze jej odstranit pomocí sirníku sodného. Dalším typem lázní jsou bezkyanidové alkalické lázně. Zinek je zde obsažen v zinečnatanu, výsledný povlak je matný a k získání lesklého povrchu je potřeba leskutvorných přísad. Lázeň je stálá a méně toxická než kyanidová. Slabě kyselé lázně jsou ze zinkovacích lázní nejrychlejší co do rychlosti vyloučení kovu a také nejúčinnější. Povlakuje se takto například i LLG a temperovaná litina. Užívá se síranochloridových nebo chloridových elektrolytů. Leskutvornými přísadami jsou organické látky (např. glukóza, želatina), rozpouštědla nebo smáčedla. Posledním typem lázní jsou kyselé lázně užívané v zinkovacích automatech. Povlak není příliš jakostní, nedosahuje se velkých hloubek, povlak je hrubší a matný. Užívá se síranu zinečnatého spolu s kyselinou sírovou. Jak kyselé, tak slabě kyselé lázně se musí pravidelně filtrovat peroxidem vodíku od přítomných částic železa v lázni.

**Kadmiováním** vzniká podobný stříbřitý povlak jako zinkováním. Povlaky se užívají nejčastěji na měděné slitiny jako ochrana proti korozi. Povlaky lze dále pochromovat a zlepšit protikorozní vlastnosti. Užívají se alkalické kyanidové a kyselé lázně. Kyanidové jsou typické pro hromadné pokovování, vyloučené povlaky jsou, bez užití leskutvorných přísad, matné. Kadmium se vylučuje z lázně s kyanidem kademnatosodným. Při užití přísad se kyanidovým lázním vyrovnají ty kyselé, kde se kov vylučuje ze síranu kademnatého, přítomna je kyselina sírová.

**Cínovaný** povlak má výborné protikorozi vlastnosti, má vynikající pájitelnost a třecí vlastnosti, není toxický. Povlak je rovnoměrný, může se dosáhnout rozličných tloušťek. Horší odolnost má vůči halogenům. Vylučování v alkalických lázních je poměrně pomalé, ale dosahuje se výborné hloubkové účinnosti. Kov se vylučuje nejčastěji z ciničitanu sodného či draselného za přítomnosti hydroxidu sodného a peroxidu vodíku. Lesklejších povlaků lze dosáhnout v kyselých síranových lázních s leskutvornými přísadami. Užívá se síranu cínatého za přítomnosti kyseliny sírové a formaldehydu pro lepší vylučovací schopnost.

**Stříbření** má největší využití v elektrotechnickém průmyslu díky vynikající tepelné a elektrické vodivosti stříbra. Známé jsou stříbřité povlaky pro svoji dekorativní vlastnost. Vyloučení na ocelových materiálech je snadné, užívá se však ještě mezipovlaků z mědi, mosazi nebo niklu pro lepší přilnavost. Využívá se pouze kyanidových lázní, kde se kov vylučuje z kyanidu stříbrnoalkalického za přítomnosti hydroxidu draselného. Lázně jsou citlivé na přítomnost chloridů. Povlak je převážně drsný a matný. Nevýhodou stříbra je, že má tendenci na atmosféře (vlivem obsahu sirných sloučenin) tmavnout, proto je dobré stříbrné povlaky chromátovat nebo lakovat.

**Zlacení** oproti stříbření neužívá jen kyanidových lázní, ale i chloridových lázní za přítomnosti fosforečnanu a ferrokyanidu. Použití je nejčastěji dekorativní, před aplikací se opět oceli napřed povlakuji mědí nebo mosazí.

**Niklování** lze na základní materiál oceli aplikovat přímo, užívá se i jako podkladová vrstva pro chromování. Má výborné protikorozi vlastnosti i při malých tloušťkách, avšak niklové povlaky jsou poměrně drahé a lehce znečistitelné. Často se užívá tzv. duplexních až triplexních povlaků, což jsou dvou až tří vrstvé povlaky různých vlastností. Spodní povlak má vynikající přilnavost, je pololesklý a má minimální obsah síry, vrchní povlak je velice lesklý. Podobně se aplikují triplexní povlaky, kdy vrchní povlak je lesklý s nízkým obsahem síry, mezivrstva je tenký povlak s vysokým obsahem síry, podklad je opět pololesklý nikl. Existuje hned několik niklových lázní. Wattsovy síranové lázně s hlavní složkou síranem nikelnatým, vždy ale s přísadou chloridu nikelnatého. Vyloučí se jemnozrnný matný povlak, přidáním leskutvorných přísad mohou být i lesklé. Chloridové lázně, jejichž elektrolyty mají vysokou vodivost a větší hloubkovou účinnost. Povlak je však křehčí než u síranových lázní. Přidáním leskutvorných přísad se získá velice lesklý povlak. Další síranovou lázní je lázeň ze síranu hořečnatého. Užívá se jen, tam kde nejsou kladeny vysoké nároky na výsledný povlak. Fluoroboritanové a sulfamátové lázně užívají fluoroboritanu nikelnatého za přítomnosti kyseliny fluoroborité. Tyto lázně zaručují kvalitní povlaky, ale jsou lehce znečistitelné a proto je velice nákladné je čistit. Speciálním povlakem je tzv. nikl-seal, na který lze optimálně nanést chromový povlak. V tomto případě jsou v povlaku přítomny částičky, které vytvoří při následném pokovení mikroporézní vrstvu, která má vynikající protikorozi vlastnosti. Černé povlaky mají dekorativní účinek, případně se užívají v optice nebo zdravotnictví. Niklové povlaky jsou vhodné pro elektrotechniku, k renovaci opotřebovaných součástek, u namáhaných součástí, využívá se i v letectví jako mezivrstva.

**Chromování** vznikají velice korozivzdorné povlaky i odolné vůči větrným atmosférám, pouze proti kyselině chlorovodíkové a sírové nejsou odolné. Tento povlak se nedá pájet. Chrom se nejčastěji užívá jako vrchní povlaková vrstva k dekorativním účelům, ale hlavně protikorozi účelům a odolný vůči opotřebení. U ocelí je nejvýhodnější užít mikroporézního nebo mikrotrhlinkového (zajišťují malou korozi rychlost) pokovování chromem s kombinací niklu. Chromování obecně má nejmenší hloubkovou účinnost z galvanických procesů. Jako anody se používají nerozpustné olověné nebo chrominové (olovo legované stříbrem). Oxid chromový se doplňuje do chromovací lázně, s vodou pak tvoří kyselinu chromovou. Přidáním dalších chromitých sloučenin se zlepšuje vylučovací schopnost

lázně. Přítomnost síranů a fluoridů zvyšuje pórovitost, avšak lázně na bázi fluoridů mají vyšší vylučovací rychlosti. Společně s chromem je vylučován i vodík za vzniku hydridů, ty dávají výslednému povlaku vyšší tvrdost, ale i křehkost. Při aplikaci většího počtu vrstev (zpravidla dvou) na chromových povlacích vznikají malé trhlinky vlivem vnitřních pnutí vyvolaných změnami objemů, může se tomu zamezit přidáním vhodných přísad. Pokud je požadován lesklý vzhled povrchu, je třeba, aby i podkladová vrstva měla lesklý vzhled. Na ocel je nutno před chromováním aplikovat měděný nebo niklový povlak. Užívají se lázně s kyselinou sírovou. Podobně jako u niklování mají i černé chromové povlaky použití hlavně dekorativní a v optice. Pro menší opotřebení součástek lze aplikovat tvrdé chromování, užívá se také při opravách součástek. Tvrdost v případě povrchů tvořených tvrdým chromováním na uhlíkových nebo nízkolegovaných oceli je 800 až 1200 HV, mohou se dále opracovávat.

### 3.2.1.3 Žárové kovové povlaky [6], [7], [12], [13], [18]

Žárové pokovování základního materiálu ponořením přes tavidlo do roztaveného povlakového kovu. Jako tavidlo se užívají různé přípravky na bázi chloridu zinečnatého nebo chloridu amonného. Reakcí mezi taveninou a povrchem základního kovu vzniká metalické spojení. Na oceli se ponorem do taveniny vytváří intermetalická fáze slitinové vrstvy, která je základem pro vytvoření ochranného povlaku a zajišťuje dobré ulpívání kovu na oceli, zhoršuje však mechanické vlastnosti. Do roztaveného kovu se přidávají přísady, které mají pozitivní vliv na přilnavost vzniklé intermetalické fáze, navíc se fáze tvoří rychleji. Pro zajištění dobré přilnavosti by měl být povrch zbaven oxidů či nečistot. Vrstvy vzniklé tímto způsobem pokovování dosahují vyšších tloušťek a mají malou pórovitost. Aby mohl tento proces probíhat, musí mít základní kov vyšší teplotu tání než kov, do kterého je ponořen. Pro železné kovy se užívá např. cín, zinek, olovo či hliník. Žárové povlaky se užívají hlavně pro úpravu pásů, drátů a trubek. Někdy lze tloušťku povlaku korigovat válci nebo vzduchovou tryskou. Jde o proces rychlý, snadný a levný. Před samotným povlakováním je vhodné povrch kovu očistit mořením a následným oplachem.

**Zinkování** je nejužívanější způsob povlakování v procesu žárového pokovování. Povlaky můžou vznikat ručně nebo kontinuálně. Zinek, ale přirozeně koroduje při styku s vodou za vzniku tzv. bílé rzi, aby tomu nedocházelo, bývá povrch ještě pochromován. Odolnost proti korozi se u zinku usuzuje podle úbytku tloušťky povlaku za působení vnějšího okolí. Zinkuje se při teplotách 440–470 °C, vznik intermetalické fáze je zapříčiněn reakcí mezi zinkovou lázní (oxidace) a ocelí (rozpuštění). Dobré je jako přísadu přidávat křemík, lépe se rozpouští železo a zvyšuje se podíl intermetalické fáze. Na rychlost reakce a tvárnost povlaku má pozitivní vliv hliník. Přičemž, pokud je tloušťka moc velká, nedá se materiál dále opracovávat, není dostatečně houževnatý. Jsou tři způsoby žárového zinkování a to mokrý, suchý a speciální. Suchým způsobem je materiál namočen do roztoku tavidla, poté usušen a dán do zinkové lázně. Mokrý způsob spočívá v tom, že je část lázně pokryta tavidlem, takže materiál do lázně vstupuje přes tekuté tavidlo, při výtahu už je hladina čistá, bez tavidla. Speciální druhy se užívají při kontinuálním způsobu pozinkování. Tavidla, které se užívají při zinkování, ať už mokrém nebo suchém jsou chlorid zinečnatý nebo amonný. Zinkování je vhodné pro ochranu vůči atmosférickým vlivům pro plechy, pásy, trubky a tyče. Pozinkovává se nejčastěji nízkouhlíková ocel nebo litina s otryskanými povrchy.

**Cínování** je určeno hlavně pro plechové součásti a potravinářský průmysl. Při žárovém cínování, však vzniká až zbytečně tlustý povlak, proto je tento způsob nanášení dán do pozadí a uplatňuje se spíše galvanické pocínování. Do cínové pokovovací lázně se zpravidla přidávají legující prvky jako fosfor, olovo a zinek, pro rychlejší a kvalitnější tvorbu povlaku. Užívá se teplot 270–350 °C a může probíhat následujícími způsoby. Cínování ve třech lázních následuje po procesu moření kyselinou chlorovodíkovou, následuje prostup tavidlem, nakonec ponoření

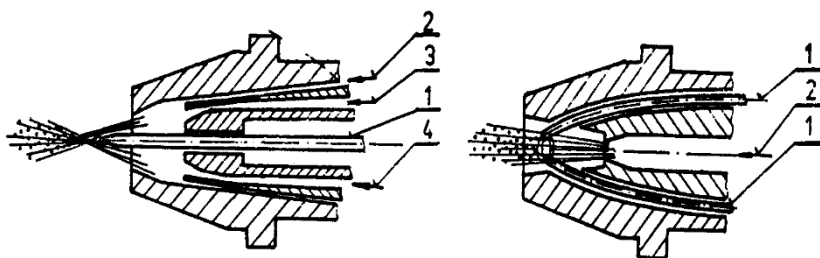
do cínové lázně. Druhý způsob je cínování ve dvou lázních, kdy je první lázeň pokryta tavidlem a druhá lázeň je pokryta olejem. U cínování litiny je třeba dbát, aby byl povrch mořením zcela zbaven grafitu, jinak by se povlak nepřichytil.

**Hliníkování** probíhá nejčastěji Sendzimirovou metodou, kdy se pás nebo drát žihá a pak vstupuje do roztaveného hliníku. Lázeň při hliníkování má teplotu 700 °C, na její hladině však vzniká vrstva oxidu hlinitého, kterého se se těžko zbavuje tavidlem. Aby nevznikali křehké povlaky, přidává se do lázně křemík. Vzniklý povlak je duplexní, pod vrstvou čistého hliníku je intermetalická sloučenina železa a hliníku. Pokud má ocel vysoký obsah uhlíku, může dojít k jejímu oduhličení. Povrch po hliníkování má dobrou korozní odolnost a vysokou žáruvzdornost. Hliník je vynikající ochranou vůči chemickým a vysokoteplotním vlivům.

**Olovění** oceli není možné bez přítomnosti jiného kovu v lázni, který s ocelí reaguje. Proto se do olověné lázně přidává cín (12-15 %) nebo antimon (2–6 %). Materiál se namáčí přes tavidlo chloridu zinečnatého do lázně o teplotě 370 °C. Výsledný povlak je odolný proti síře, proto je hojně využíván při výrobě plechů ke zhotovení nádrží. Olovnatý povlak je vhodný tam kde je vysoké korozní namáhání pro plechy.

### 3.2.1.4 Metalizovaný kovový povlak [6], [7], [12], [13], [20]

Metalizovaný povlak vzniká nástřikem roztaveného kovu na základní materiál. Částičky kovu jsou stříkány pomocí stlačeného vzduchu pistolemi (Obr.14). Pokovovací materiál se přivádí do pistole zpravidla v podobě drátu nebo i prášku či v podobě taveniny. K tavení se využívá kyslíko-acetylenový plamen, elektrický oblouk nebo plazma. Rychlost částic je závislá na rychlosti proudu vzduchu. Při dopadu se částičky kovu zachytí na drsném očištěném povrchu a zdeformují se (kinetická energie částice se změní na deformační práci). Vrstva drží za pomoci adhezních sil a je možné ji dále obrábět. Důležité je, aby v místě nanášeného povlaku byla teplota základního materiálu hodně pod jeho teplotou tavení a nedosáhlo se tak tepelného ovlivnění, či deformaci. Vrstva má jak elektroizolační, tak tepelně izolační vlastnosti. Při tvoření metalizovaného povlaku se může řídit tloušťka vrstvy, proto má široké uplatnění. Velkou výhodou této metody také je, že se může užít dvou různých kovů zároveň za vzniku tzv. pseudolitiny s výjimečnými vlastnostmi. Existuje několik druhů metalizace. Žárové stříkání plamenem již nemá v dnešní době vysoké zastoupení, neboť má ze všech metalizovaných procesů nejhorší vlastnosti (soudržnost, přilnavost). Povlak má určité množství oxidů, povrch je tedy tvrdší, naopak ale ztrácí houževnatost a vlivem nehomogenní struktury není povlak moc pevný, avšak jeho typická vlastnost – pórovitost, určuje vynikající odolnost vůči opotřebení. Žárové stříkání elektrických obloukem je vhodné zejména pro renovace, povlak je houževnatý a pevný. Často se aplikuje pod keramické povlaky. Žárové stříkání plazmou má velice univerzální využití, využívá širokou škálu povlakových materiálů, výsledné povlaky mají vynikající vlastnosti. Největší využití v poslední době má vysokorychlostní žárové stříkání plazmou-metoda HVOF. Tato metoda využívá vysoké kinetické energie za vzniku pevného, soudržného povlaku s vynikající odolností proti opotřebení a nízkou porozitou.



**Obr. 14 – Metalizační pistole plynová (vlevo) a elektrická (vpravo):**  
1- drát, 2- přívod vzduchu,  
3- přívod kyslíku, 4- přívod plynu [6]

Nejrozšířenější využití mají metalizované povlaky o ocelových konstrukci (nejčastěji povlaky zinku a hliníku), kdy tloušťka povlaku až 300  $\mu\text{m}$  slouží jako protikorozní ochrana i po několik desítek let.

### 3.2.1.5 Termodifúzní kovové povlaky [6], [7]

Termodifúzní povlakování je nasycování povrchu základního materiálu legujícím prvkem k získání požadovaných vlastností povrchu. Jde o chemicko-tepelné zpracování, kdy se na povrchu základního kovu vylučuje difúzní vrstva. Aktivním prostředím a dostatečně vysokou teplotou se rozkládají molekuly sloučenin a uvolňuje se příslušný prvek, který se usazuje na povrchu základního materiálu a prostupuje mřížkou (difúze) ve směru koncentračního spádu. Tato vrstva se svým složením liší od materiálu základního kovu. Oba materiály musí tvořit tuhé roztoky, to je podmínka difúzních procesů. Nejčastějšími termodifúzními technologiemi je šerardování (sycení ocelového povrchu zinkem), alumetování (sycení hliníkem) nebo inchromování. Tento způsob povlakování chrání materiál proti žáru a korozi, užívá se pouze ojediněle.

**Zinkování** se nejčastěji provádí tzv. šerardováním za nízké teploty pod bodem tání zinku. Touto metodou nelze získat lesklý povrch, avšak vrstva velmi dobře ulpí na povrchu a je vhodná na členité součástky. Směs práškového zinku s oxidem zinečnatým nebo křemičitým je v rotační peci (buben se stále otáčí a díky tomu vzniká rovnoměrná vrstva), kam je dán základní materiál na vyžehání za teploty 350–400 °C. Méně časté je vysokoteplotní zinkování, kdy se povrch nasycuje parami zinku, probíhající při teplotách 700–1000 °C.

**Hliníkováním** lze získat povrch odolný vůči oxidaci do 900 °C a sloučeninám síry za vyšších teplot. Užívá se nejčastěji na nízkouhlíkové a žáruvzdorné oceli. Způsobem termodifúzního hliníkování je např. alumetování, kdy se hliník nanáší metalizací na opískovaný povrch a difúzně se žihá v peci při 800–1000 °C po několik hodin. Dalším způsobem je tzv. alitování, kdy se žihá ocel v práškové směsi feroaluminia, oxidu hlinitého a chloridu amonného opět při stejné teplotě jako v případě alumetování. Získá se tak žáruvzdorný a houževnatý povlak. Způsob kalorizování spočívá v tom, že vyžeháný materiál je v krabici posypán směsí hliníkového prášku a oxidu hlinitého s chloridem amonným, vrstva je méně houževnatá.

**Inchromování** za zisku povrchu s vyšším obsahem chromu, kdy vzniklý povrch je odolný proti opotřebení i korozi a má vyšší tvrdost. Povrch se sytí chromem za vzniku slitiny železa s chlorem za teplot 900–1200 °C, po dobu 1–12 hodin. Inchromování může probíhat např. způsobem DBS, kde se užívá keramických hmot s ferochromem, do nichž se vhání chlorovodík a vzniklý chlorid chromnatý je pohlcen keramickou hmotou. Dalšími způsoby jsou např. DAL, SVÚOM, které užívají keramické směsi s jodidem amonným. Je důležité, aby povlakovaná součást neměla vysoký obsah uhlíku, který difunduje na povrch a zpomaluje proces difúze. Jakost povlaku se dá zvýšit následným zušlechťováním.

### 3.2.1.6 Kovové povlaky tvořené ve vakuu [6], [7], [12]

Povlakování ve vakuu je odpařování povlakového materiálu za nízkého tlaku (nebo vakuu) a následná kondenzace jeho par na základní materiál. Páry se tak srážejí na základní kovový materiál a vzniká velice tenká (do 1  $\mu\text{m}$ ) lesklá rovnoměrná vrstva. Proces probíhá ve vakuu, aby se urychlilo odpařování, zabránilo se oxidaci, a aby při odpařování dolétaly atomy kovu přímočaře ke kovu základnímu bez narážení do okolních atomů jiného plynu. K odpařování se užívá elektronový svazek nebo obloukový výboj. Při napařování kovů s nízkou teplotou oparování je třeba základní materiál chladit. Výhodou vakuového pokovování je, že probíhá při nízkých teplotách, nedochází tedy ke změnám vlastností základního materiálu vlivem teploty. Metoda může využívat i ionizaci látky a urychlit tím proces. Novými způsoby

pokovování jsou CVD (Chemická depozice z plynné fáze), PECVD (Plazmově vylepšená chemická depozice z plynné fáze) a PVD (Fyzikální depozice z plynné fáze). Povlakování ve vakuu se uplatňuje v optice a polovodičové technice, k dekorativním účelům, k povlakování nevodivých materiálů. Využívá se hliník, který je vhodný pro tvorbu odrazových ploch zrcadel, ale i stříbro, měď, nikl či chrom. Pokovováním ve vakuu lze získat i tlusté povlaky vhodné na nelegované nebo nízkolegované oceli, které pak plní funkci protikorozi.

### 3.2.1.7 Naválcované kovové povlaky [6], [7]

Naválcování tenké fólie povlakového kovu na základní kov. Spojení kovů válcováním za tepla. Na povrchu základního kovu nesmí být nečistoty či oxidy. Nejlépe se spojí kovy, vznikne-li mezi nimi difuze za vyšších teplot. Je vhodný pro úsporu drahých materiálů. Povlakovým materiálem může být nerezová ocel, měď, mosaz či hliník. U oceli to mohou být povlaky z mědi u kluzných materiálů nebo z korozivzdorné oceli na oceli konstrukční.

### 3.2.2 Nekovové anorganické povlaky [6], [7]

Anorganické povlaky se mohou rozdělit do dvou druhů, a to konverzní vrstvy a smaltové povlaky. Buď je tedy materiál chráněn změnou korozní odolnosti, nebo se aplikuje bariérová vrstva.

#### 3.2.2.1 Konverzní vrstvy [6], [7], [10], [12], [13], [14], [15]

V první řadě je to konverzní vrstva, což znamená, že vzniká uměle a vytváří velice tenkou vrstvu na základním kovu. Jsou to povlaky z oxidů, fosforečnanů a chromanů kovů. Povlak je tvořen chemickou nebo elektrochemickou reakcí v lázni. Na vzniku vrstvy se podílí jak kov, tak i prostředí, a vrstva se vytváří směrem od povrchu do materiálu. Plní pak funkci protikorozi, kdy je materiál odolný proti galvanické korozi, zlepšuje ovšem i přilnavost nátěrových povlaků. Hlavními vlastnostmi je elektroizolace, tvrdost, odolnost proti otěru. Těchto vrstev je možné užít i jako mazadel.

**Oxidické vrstvy**, říká se též barvení kovů, jsou vytvářeny chemickou oxidací či oxidací za zvýšené teploty. Jde o vytvoření tenké vrstvy oxidů do 0,1  $\mu\text{m}$ , avšak můžou se vytvořit rozličné tloušťky podle teploty a doby ohřevu. Vlivem nestejnoměrného rozložení teplot na povrchu základního materiálu, nevzniká všude stejné zabarvení. Stejněoměrného zabarvení u oceli tzv. modření, lze dosáhnout jen ohřevem v dusičnanové solné lázni při 240-300 °C. Protikorozi účel je dán do pozadí uplatňuje se hlavně dekorativní funkce. Vlastností oxidických vrstev je ochrana proti větrům, nebo vlhkosti a odírání. Nejčastějším druhem oxidace je černění oceli v alkalických lázních při teplotě 150 °C, vytváří se tak 2  $\mu\text{m}$  tenká matná vrstva. Černý povlak vzniká reakcí hydroxidu sodného se železem, za přítomnosti kyslíku. Výsledná černá barva je dána roztokem oxidu železnato-železitého (působení železnaté a železité soli). Černění se užívá u uhlíkových a nízkolegovaných ocelí, také ale i krajně u litin a vysoce legovaných ocelí. Pokud se povlaků užívá k dekorativním účelům, je nutné, aby povrch základního kovu byl dokonale čistý, zbaven okují, rzi a škrábanců. Po barvení kovu totiž tyto nedostatky nezmizí, ale naopak se zviditelní. Oxidace lze též využít na měděných a hliníkových materiálech (eloxování).

**Fosfátové vrstvy** vznikají chemickou reakcí roztoků fosforečnanů na povrch základního materiálu. Užívá se přípravků z fosforečnanu zinku (bonderizace), železa (walterizace), vápníku a manganu (parkerizace). Fosfátování má dvě fáze, první je elektrochemická fáze a druhá krystalizační fáze. První fáze spočívá ve vytvoření velice tenké vrstvy amorfního fosfátu na povrchu, která je tvořena kationty obou kovů. Podstatou je přeměna rozpustného dihydrogenfosforečnanu na nerozpustný hydrogenfosforečnan a fosforečnan kovu. Druhou fází



krystalizuje fosforečnan (např. zinečnatý) na povrchu oceli. Do fosfatizačních lázní je možno přidat urychlovačů dusičnanů, dusitanů, chlornanů. Pro své významné pórovité vlastnosti se užívá spíše jako podklad pro organické povlaky (nátěry), které na něm lépe ulpí, navíc chrání nátěr proti podrazevení. Slouží proti korozi, ale i jako elektro-izolant. Povrch je hrubý, ale lépe tak drží mazivo, proto se užívá tam kde je velké tření materiálů. Upravují se tak polotovary pro hluboké tažení a protlačování za studena. Užívají se lázně obsahující dihydrogenfosforečnany kovů, jejichž povlak je požadován např. zinkové, manganové či amonné a sodné (železnaté fosfátování). Lázeň vždy obsahuje kyselinu fosforečnou a pracuje za zvýšených teplot. Je vhodné povrch dále upravit ještě impregnačními či nátěrovými hmotami, pasivací pórů. Fosfátování je běžnou povrchovou úpravou hlavně u nelegovaných ocelí nebo jako podklad galvanicky zinkovaných ocelí.

**Chromátové vrstvy** se vytváří v lázních kyseliny chromité. Nejčastěji se využívají na již pozinkovaných materiálech ke zlepšení korozních vlastností. Galvanické zinkování a následné chromátování oceli je hojně využívaný protikorozní proces. Jako mezivrstva také zlepšuje přilnavost organických povlaků. Užívají se alkalické nebo kyselé lázně. Alkalické lázně nejsou tak časté, jsou složeny z chromových solí a zásaditých solí či křemičitanů, k utěsnění pasivační vrstvy. Podstatou je z nerozpustných hydroxidů vytvořit nerozpustný chromátový povlak. Kyselých lázní se užívá více, hlavní složkou je kyselina chromová, kyselá oblast má pH od 1 do 2,5. Vytvořená vrstva je směsí sloučenin chromu a základního kovu. Chromátové vrstvy mají vysokou tvrdost a pevnost, užívají se pro své ochranné vlastnosti a neporéznost. Nejčastěji se aplikují ponorem nebo postřikem, příp. poléváním či natíráním.

### 3.2.2.2 Smaltové povlaky [6], [7], [13]

Kromě konverzní vrstvy se užívá i povlakování smaltem. Smalty jsou skelné povlaky, které po natavení přilínají na povrch kovu a zvyšují jeho protikorozní vlastnosti. Jako předúprava materiálu se využívá otryskávání nebo moření. Skelný materiál je tvořen ze skloviny, která obsahuje sklotvorné oxidy kyselé (křemen), neutrální (živec, kaolin), zásadité (uhlíčitan sodný, vápenatý). Přítomny jsou také například přídržné oxidy, kalidla, barvidla, oxidační látky. Základní materiál se smaltovou břečkou polévá, máčí, stříká nebo práší a to, buď v jedné, nebo i ve více vrstvách. Základní smalt je nataven přímo na kov, vytvoří se přídržná mezivrstva a pevné spojení. Krycí smalt je nanášen na ten základní vypálený smalt, má požadované vlastnosti, mohou být zakalené nebo transparentní. Jednovrstevné smalty obsahují vlastnosti a funkce obou těchto smaltů, jsou výhodnější, nevznikají při něm taková pnutí. Následně se povrch vysuší a vypálí při 800-950 °C. Spojení smaltu s kovem je možné přítomností vzniklé tenké oxidační vrstvy při vypalování. Povlak vzniká za sucha, kdy mokré smalt je naléván na suchý základní materiál. Jakmile smalt uschne, je vypálen v peci a okamžitě po vyndání z pece posypán krycím smaltem. Povlak může být nanášen i za mokra, kdy se však z pece materiál vyndá a nechá se vychladnout. Následně se poleje mokrým krycím smaltem a znovu vypálí. Výsledný povlak je velice chemicky stálý proti kyselinám, avšak nesnese velké tepelné šoky a rázy (smalty jsou křehké). Vydrží však vysoké teploty až 700 °C a více. Kyselinovzdornost lze vylepšit přítomností oxidu křemičitého, hlinitého, zhoršuje se přítomností oxidu sodného, olovnatého. Smalty mají velkou odolnost proti otěru a vysokou izolační schopnost. Pro lepší žáruvzdorné vlastnosti se nanáší stříkáním vysokotavitelné smalty např. z cermetů. Tvrdost, lesk, stálost barev, vysoká životnost a velká škála odstínů jsou velkou předností. Oceli s vyšším obsahem uhlíku se smaltují obtížně, při vypalování totiž vznikají reakce uhlíku s oxidy na povlaku bubliny. Nebezpečný je také cementit a hrubozrnný grafit nebo vyšší obsah fosforu či vodík. Litiny s lupinkovým grafitem se smaltují tak, aby vrstva byla rovnoměrná, jemnozrnná a perlitická. Povrch před smaltováním musí být zbaven plynů a nečistot.

### 3.2.3 Organické povlaky [6], [7]

Z mnoha důvodů jsou právě organické povlaky ty nejpoužívanější. Jsou poměrně lehce namíchatelné, je jich široký výběr co do druhu, kvality a barev. Nejsou závislé na tvaru materiálu, lze je užít na všechny tvary a velikosti, jejich aplikace není složitá. Jejich ochrana působí především bariérově. Mohou mít i speciální ochranné vlastnosti, jako je ochrana proti bakteriím (baktericidní) či houbám (fungicidní). Některé dokonce mají svítící vlastnosti. Z hlediska velkého množství odstínů barev je důležitá i dekorativní funkce. Obsahují však toxické látky jako jsou pigmenty a ředidla.

#### 3.2.3.1 Nátěry a laky [6], [7], [13]

Nátěry mohou být jednovrstvé nebo vícevrstvé souvislé povlaky. Lze je dělit z pohledu účelu či vzhledu a pořadí například jsou napouštěcí nátěry, tmely (vhodné pro zarovnání podkladového povrchu, matné), podkladové barvy, emaily (vhodné jako konečný nátěr, lesklé). Jde o tekutou až pastovitou hmotu vytvářející na povrchu základního materiálu film. Tato hmota pak buď zasychá přímo na vzduchu při 20 °C (za nižších teplot zasychá pomaleji), nebo se vypaluje (při teplotách 85 až 200 °C). Vypálené nátěry jsou především, tam, kde jsou požadavky na vyšší mechanické vlastnosti či vysokou životnost. Výhodou je jejich snadné nanášení, jsou vhodnou protikorozi ochranou. Nátěr se nanáší za účelem ochrany proti větru, oleji, mořské vodě, ohni a proti vibracím. Je zjevné, že však nemají takovou odolnost jako kovové povlaky. Vrstva je totiž přirozeně propustná vůči kyslíku nebo vodě. To může zapříčinit korozi pod nátěrem, proto je nutné dbát na kvalitu základního nátěru. K tomu slouží pigmenty na bázi olova (např. suřík) nebo cínu, které výrazně zpomalují rychlost koroze. Základní nátěr se před nanesením dalšího nátěru zpravidla ještě upravuje. Nátěrové hmoty obsahují filmotvorné organické látky, pigmenty, plniva, organická barviva, rozpouštědla a sušidla. Pojidla jsou nejdůležitější částí nátěrových hmot, jsou tvořena filmotvornými látkami a rozpouštědly. Filmotvorné látky jsou netěkavé a organické, mohou to být vysychavé oleje, přírodní nebo syntetické pryskyřice, celulóza, kaučuk, asfalty nebo třeba i změkčovadla. Právě filmotvorné látky a jejich chemické vazby udávají vlastnosti nátěru jako je jeho odolnost proti kyselinám, větru a jeho přilnavosti. Změkčovadla sice nevytváří tuhý film a nezasychají, jejich funkcí je ale nabobtnat filmotvorné látky a snížit tak jejich křehkost a tvrdost, zlepšit požadované vlastnosti vláčnosti a pružnosti. Rozpouštědla jsou těkavé látky, a právě v nich se filmotvorné látky rozpouštějí a vytvářejí tak viskóznější hmotu, kterou je již možné nanést na základní materiál. Užívá se benzín, toluen, aceton, silic atd. Pigmenty se užívají k obarvení hmoty, mohou být anorganické nebo organické. Jsou tři základní druhy pigmentů podle jejich korozi vlastností – inhibiční pigmenty korozi zpomalují, neutrální pigmenty nemají vliv a stimulační pigmenty korozi urychlují. Plnivy se rozumí rozemleté minerální látky (mstek, křída), které upravují vlastnosti nátěru, hlavně jeho smrštění při zasychání. Aditiva mají podobnou vlastnost jako plniva, užívá se zejména sušidel, stabilizátorů, zvláčňovadel. Podíl plniv a pigmentů v nátěrové hmotě určuje vzhled povrchu, pokud je podíl vyšší je nátěr matný a povrch drsný, a naopak jeli podíl nižší, pak je povrch lesklý a hladký. Konečnou nátěrovou vrstvu tvoří povětšinou laky, vytvářející lesklý a hladký povrch. Laky mohou být syntetické, olejové nebo z umělých pryskyřic. Nátěry lze nanášet ručně štětcem (popř. válečkem u velkých jednotných ploch), máčením nebo stříkáním. K označení nátěrových hmot se užívá velké písmeno, značící základní použitou surovinu (např. A-asfaltové, C-celulózoové, L-lihové, O-olejové, S-syntetické). Za písmenem se uvádí čtyřmístná číslice, označující druh nátěru. Posledním čtyřčíslím se pak udává barevný odstín nátěrů.

U nanášení nátěrů je třeba dbát na kvalitní předúpravu povrchu, na mastný povrch nátěr dobře nepřilne a zasychání je velice pomalé. Existuje hned několik technologických aplikací nátěrů, a to z pohledu velikostí a tvarů materiálu, požadovaných vlastností, kvality povrchu,

použití. **Ruční nanášení** je nejrozšířenější a nejjednodušší technologií, avšak není určena pro velké množství materiálů, povlak má skvělou přilnavost, nanáší se štětcem nebo válečkem (pro rovinné plochy). **Pneumatické stříkání** užívá mechanizovaných dopravních stříkacích linek spočívající v rozstříkování nátěrové hmoty pistolemi pomocí stlačeného vzduchu, využívá se pro rychleschnoucí nátěry, je to vhodné pro velký počet kusů. **Vysokotlaké stříkání** je rozdílné v tom, že k rozprašování dochází pouze tlakem nátěrové hmoty, při aplikaci tedy nevznikají tak velké ztráty a metoda je vysoce produktivní. **Stříkání hmot v ohřátém stavu** využívá pneumatického či vysokotlakého nanášení při ohřátí hmoty na 70-80 °C, čímž není tedy zapotřebí ředidel, protože vhodná konzistence vzniká jejím ohřátím přímo ve stříkací pistoli. **Stříkání** může probíhat i v **elektrostatickém poli vysokého napětí** založené na přitažlivosti dvou částic s rozdílnými náboji. Částice s elektrostatickým nábojem jsou unášeny po silokřivkách elektromagnetického pole směrem k materiálu, kde odevzdají svůj náboj a ulpí na povrchu pomocí adhezních sil. **Nanášení máčením** se užívá ve velkosériové výrobě, tloušťka nátěru je závislá na rychlosti vymoření a konzistenci hmoty a je nutné, aby byla lázeň pravidelně promíchávána. **Polévání** je nejvhodnější pro rovinné plochy, výhodou jsou malé ztráty. **Navalování nátěrů** je možné pouze na ploché výrobky, je tedy vhodné pro plechy a pásy. Hmoty se nanáší na válcovacích stojanech mezi nanášecí a podpěrný válec, a to souběžně (nanášecí válec a pás se hýbou stejným směrem) nebo nesouběžně. **Elektrochemické nanášení** spočívá v ponoření materiálu do lázně speciální hmoty a působením stejnosměrného elektrického pole jsou částice přitahovány k základnímu materiálu, postupně se zvyšuje elektrický odpor povlakované části. Takto vytvořené povlaky jsou homogenní, dobře ulpěné a vytvrzují se vypalováním. Uplatňuje se ve velkosériové výrobě a zejména v automobilovém průmyslu. **Chemické nanášení** neuvžívá elektrického proudu, nátěr je tvořen chemickými reakcemi z vodní syntetické disperze, roztoku kyseliny a sloučenin železa. U všech těchto nátěrů je velice důležité dostatečné zaschnutí a případně dostatečné vypálení. Při zasychání se stává nátěr tvrdým, nelepivým, vypaří se ředidla a rozpouštědla bez změny vlastností povlaku. Ideální teplota zasychání je 18-25 °C. Zasychání nátěrů lze urychlit vyšší teplotou, avšak je třeba dodržet podmínky, aby se mohla ředidla a rozpouštědla dostatečně vypařit, jinak vznikají defekty ve formě pórů.

### 3.2.3.2 Pvlaky z plastů [6]

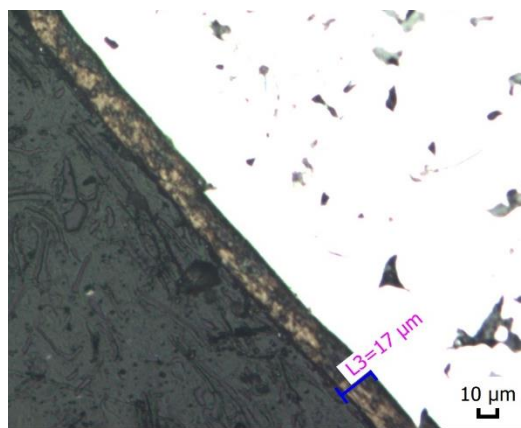
Po vysušení uniká většina nátěrové hmoty-organická rozpouštědla. Využívá se tedy ekonomičtější metody, a to povlakování plasty a pryží. Pryskyřice se nanesou ve formě prášku na ohřátý povrch, tudíž není zapotřebí rozpouštědel, ztráty jsou menší a charakter použitého plastu udá výsledné vlastnosti povlaku. Užívá se mnoho druhů polymerů např. polyvinylchlorid, polyetylen, teflon, přírodní či syntetický kaučuk. Nejčastěji se nanáší žárovým stříkáním, prášek plastické hmoty se nataví ve stříkací pistoli a je nanesen na přehřátý povrch. Slitý povlak se upraví plamenem. Důležité je, aby na plastickou hmotu nepůsobila vysoká teplota po delší dobu, mohlo by totiž dojít k rozkladu daného plastu. Vše se děje ve fluidním loži, což je otevřená nádrž, kde se rozvíří prášek plastu díky porézní desce nad dnem, kterou je ventilován vzduch do nádrže. Rozvířený prášek tak ulpívá na ponořený přehřátý předmět. Povlak se může aplikovat i užitím bezplamenného stříkání, kde je natavení částic a slnutí uskutečněno pouze teplem přehřátého základního materiálu. Jako u nátěrů lze plátovat (navalčovávat) i plasty a opět se užívají především na pásy, plechy, ale i dráty a trubky. Plátuje se hlavně termoplasty, polyetylény aplikací na hlubokotažné oceli k získání korozní odolnosti a izolace. Všechná technologie nanášení plastů je naprašování prášku v elektrostatickém poli, která je vhodná pro členité a rozměrné kusy, princip je podobný jako u elektrostatického stříkání nátěrových hmot. Plastové povlaky jsou obecně skvělými izolanty na elektrické vodiče i protikorozní ochranou a ochranou proti opotřebení, jsou navíc levnější než nátěry.

### 3.3 Vlastnosti ochranných povlaků [9], [11], [12]

Vlastnosti daného povlaku mají vliv na životnost součásti. Jejich kvalita je určena hlavně na základě chemických a fyzikálních vlastností systému povlak-základní materiál. Povlaky se hodnotí podle protikorozních ochranných vlastností, podle odolnosti vůči opotřebení, tvrdosti, elektrických a magnetických vlastností a celkového vzhledu a lesku povlaku. Hlavními ochrannými vlastnostmi povlaku, určujícími jeho kvalitu je tloušťka, soudržnost se základním materiálem, pórovitost a propustnost.

#### 3.3.1 Tloušťka [6], [9], [11], [16], [17]

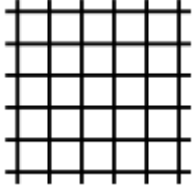
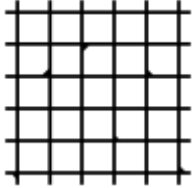
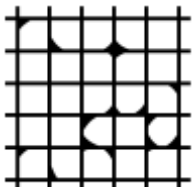
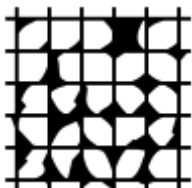
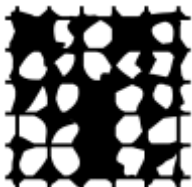
Důležitým parametrem bariéry proti korozi je tloušťka povlaku. Je to vzdálenost mezi povrchem povlaku a povrchem podkladu. Je kritériem pro hodnocení životnosti. Tloušťka musí být dostatečná, aby kapilárami nemohly pronikat korozní produkty. Vlivem atmosféry se časem, ale vrstva postupně zmenšuje. Čím větší je tloušťka vrstvy tím je povlak přínosnější ochranou. Avšak pokud je tloušťka až moc velká, může zapříčinit velké pnutí povlaku nebo krajně i základního kovu. Měření tloušťky povlaku může být místní nebo průměrné, udávané buď v  $\mu\text{m}$  nebo u silnějších povlaků plošnou hmotností v  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Místní tloušťka je průměrná hodnota zjištěná v dané oblasti měření, průměrná tloušťka je průměrná hodnota místních tloušťek, které jsou rovnoměrně na povrchu. Tloušťka se stanovuje nedestruktivními i destruktivními metodami. U kovových a jiných anorganických povlaků se přednostně užívají nedestruktivní zkoušky stanovující tloušťku vyloučeného povlaku. Jmenovitě magnetická metoda, metoda vířivých proudů, metoda zpětného rozptylu záření beta, mikroskopická metoda (Obr.15) nebo rentgenospektrometrické metody a další. Magnetická zkouška spočívá v tom, že magnet přitahuje feromagnetické materiály, tloušťkoměr se přiloží na plochu a měří se síla do odtržení magnetu. Metoda vířivých proudů využívá rozdílné vodivosti povlaku a podkladu, vyhodnocuje se zpětné působení vířivých proudů v elektricky vodivém kovovém podkladu. Pro ocel je metoda vířivých proudů využitelná pro měření tloušťek elektrolyticky vyloučeného niklu do tloušťek 75  $\mu\text{m}$  nebo žárově zinkovaných povlaků. Destruktivními zkouškami mohou být metoda snímací, kapková nebo culometrická. Snímací metoda určuje rozdíl hmotnosti výrobku s povlakem a bez povlaku, není vhodná pro slitiny, kde je nezjistitelná přesná hustota, je však velice vhodná pro fosfátové povlaky. Kapková metoda spočívá v tom, že se na dané místo nanáší kapka, určuje se počet kapek roztoku k rozpuštění povlaku, případně u velice tenkých povlaků se určuje doba, kdy jedna kapka proleptá povlak. Culometrická metoda je rozpouštění povlaku za řízených elektrochemických podmínek. Pro nátěry se užívá mechanických metod (rozdíl tloušťky, měření průniku), optických metod (příčný a klínový řez), magnetických metod (odtrhová, indukční, vířivých proudů) a další. Všechny metody stanovující tloušťku povlaku jsou popsány v normě ČSN EN ISO 3882 *Kovové a jiné anorganické povlaky – Přehled metod měření tloušťky a v normě ČSN EN ISO 2808 Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru.*



**Obr. 15 – Mikroskopická metoda měření tloušťky zinkového povlaku (zvětšení 200x)**

### 3.3.2 Přílnavost [9], [11], [12], [13], [18]

Přílnavost je dána adhezními silami na rozhraní mezi kovem a povlakem. Tyto síly jsou vyšší u členitějších a aktivnějších povrchů (lze dosáhnout otryskáním). Důležitým mezníkem pro přílnavost nátěru je jeho schopnost odolávat mechanickému zatížení jako je ohýbání či skružování, což jsou typické operace pro plechy a dráty. U metalizovaného povlaku se kvalita přilnutí tenkých vrstev zkouší odrýpnutím nožem, u tlustších vrstev poklepáním kladiva, kdy v ideálním případě by měl povlak vydávat kovový zvuk. U nátěrů se přílnavost zhoršuje působením vyšších teplot, kdy u nátěru vzniká značné vnitřní pnutí. U nátěrů lze k vyhodnocení užít mřížkové zkoušky (Obr.16), kdy se na nátěr vyřežou noži čtvercová políčka mřížky a vyhodnotí se, jak moc velký nastane odlup nátěru po odtrhnutí lepidivé pásky a potřebná síla k odtrhnutí v MPa. Mřížková metoda je popsána v normě ČSN EN ISO 2409 *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Na podobném principu lze užít i odtrhovou zkoušku, která je popsána v normě ČSN EN ISO 4624 *Nátěrové hmoty – Odtrhová zkouška přílnavosti*.

Klasifikace	Popis	Vzhled
0	Řezy zcela hladké, žádný čtverec není poškozen	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5%.	
2	Nátěr nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch smí být poškozen z více jak 5%, ale méně než 15% celkové plochy.	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél hran celý nebo částečně. Poškození je vyšší než 15% a nižší než 35%.	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů, některé čtverečky jsou částečně či zcela poškozeny. Poškození je vyšší než 35%, avšak nižší než 65%.	
5	Změny větší než u stupně 4.	

Obr. 16 – Klasifikace poškození nátěru užitím mřížkové zkoušky [25]

### 3.3.3 Pórovitost [9], [11], [12]

Pórovitost je množství dutin v povlaku, které mohou být makroskopické, mikroskopické nebo submikroskopické, průchozí nebo neprůchozí. Obvykle s tloušťkou povlaku pórovitost klesá. Nejhorší jsou póry průchozí, které mohou zapříčinit vznik koroze. U nátěrů se pórovitost stanovuje nedestruktivní metodou, kde se vyhodnocuje reakce zkušebního prostředí se základním materiálem v místě, kde vznikly průchozí póry. Ponorovou zkouškou je umístěn vzorek do roztoku po určitou dobu a v místě reakce se v pórech objeví barevné skvrny. Zkoušky mohou být i elektrochemické, optické (zkoumá se množství prošlého světla) nebo vysokonapěťové (namáhání povlaku vhodnou intenzitou elektrického pole). S pórovitostí úzce souvisí i míra propustnosti povlaků.

### 3.3.4 Propustnost [9], [11], [17]

Propustnost je míra prostupnosti okolního prostředí skrz povlaky. Je zapotřebí různých korozních a klimatických zkoušek, čímž se zjistí kvalita vyloučeného povlaku. Vzorky jsou vystaveny různým podmínkám jako je zvýšená teplota, vysoká relativní vlhkost nebo přítomnost prvků podporující vznik koroze (chloridy, sírany). Známá je zkouška solnými kapičkami, kdy se vzorek vystaví podmínkám místních vlivů (ne však kondenzace vlhkosti). Vzorky se postříkají kapičkami solného roztoku, po určité době se odstraní korozní produkty a stanoví úbytek hmotnosti vzorku. Tato zkouška se popisává v normě ČSN EN ISO 4536 *Kovové a anorganické povlaky na kovových podkladech – Korozní zkouška solnými kapičkami*. Oproti tomu zkouška solnou mlhou ověřuje kvalitu a souvislost povlaku v podmínkách kondenzující vody, kdy se stanoví doba do vzniku prvních korozních produktů na základním materiálu. Zkouška solnou mlhou je popsána v normě ČSN EN ISO 9227 *Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou*. Známou metodou propustnosti nátěrů pro vodní páru je misková metoda. Pokud vzniká koroze pod nátěrem byla součást vystavena přítomností vody a difundoval se kyslík pod nátěr, vznikají tak puchýřky. U nátěrů je odolnost dána především použitým druhem pojiva.

## 3.4 Negativní vlivy povrchových úprav [11], [19], [21], [22]

Povrchové úpravy mají vynikající ochrannou funkci, z hlediska životnosti a spolehlivosti. Všechny procesy spojené s nanášením povlaků nebo nátěrů jsou provázena ať již nějakou chemickou, elektrochemickou nebo tepelnou výměnou. Tím je jasné, že při aplikaci povlaků v základních materiálech dochází k jistým změnám a ovlivněním. K negativním vlivům patří zejména vznik vodíku, teplotní ovlivnění, případně nedokonalé odstranění chemikálií nebo vody při samotném procesu povrchových úprav.

Teplotní ovlivnění vzniká především u žárově pokovovaných materiálů, kdy materiál může změnit i své mechanické vlastnosti, případně se může i deformovat. Vlivem teploty také může docházet ke vnitřnímu pnutí, a to především u tryskání nebo smaltování. Je charakteristické i pro galvanické pokovování, vzniká díky existenci deformací v krystalické mřížce vylučovaného kovu. Vnitřní pnutí ovlivňuje křehkost materiálu a je ovlivněno teplotou, složením, mícháním lázně. Může dojít k iniciaci trhlin a deformaci základního kovu. Vysoká teplota může zapříčinit vznik oxidace, změnu fázového složení nebo jinou chemickou reakci základního povrchu.

Daleko větší negativní vliv má při aplikaci povlaků vzniklý vodík. Tento vodík vniká do materiálu např. při moření nebo elektrolytických procesech. Jeho vlastností je, že dokáže velmi snadno difundovat do základní krystalové mřížky kovu a způsobovat tak vodíkovou křehkost. Vniká do materiálu lehce, jelikož se nejedná o molekulární vodík, nýbrž o vodík ve stavu zrodu,

ve formě protonů. Intersticiální vodík pak zapříčiňuje deformaci mřížky, hlavně způsobuje i vznik lomů. Vodíkový iont je zachycen ve fázovém rozhraní nebo vměstkách, dislokacích, vakancích apod., tam se vodík rekombinuje stává se z něj molekulární vodík, který je objemnější než dva atomy vodíku. Při vzniku těchto molekul se pak vlivem vysokých lokálních pnutí může vytvořit v kovové matici trhlinka. Jelikož nemůže z materiálu vodík difundovat, stoupá tlak a vznikají v materiálu dutiny. Tyto dutiny se zvětšují, vznikají puchýře nebo dokonce separace ploch materiálu. Vodík tedy zapříčiňuje snížení plastických vlastností základního materiálu. Při zkoumání lomové plochy jsou pak patrné póry s hladkou vnitřní plochou, okolo kterých se vytvořila bílá kola, proto se těmito úkazům říká „rybí oka“. Právě proto, že je atom vodíku mnohonásobně menší než atom železa, tak vniká do mřížky poměrně snadno a má tendenci směřovat k místům s vnitřním tahovým napětím. Pokud vzniká v materiálu trhlinka, pak je v její špičce takové napětí, které přitahuje vodík čímž se zvyšuje napětí a je tak způsobeno křehnutí materiálu. Tato vodíková křehkost se nejlépe odstraní pomocí vyžehání až po 8 hodin při teplotě 200–230 °C po samotné aplikaci povlaku. K opatřením, aby vodíková křehkost vůbec nevznikla by se mohla řadit např. změna polarity při elektrolytickém odmašťování, omezení doby moření, změna elektrolytů při galvanickém pokovování – nejmenší riziko je u kyanidových elektrolytů. Je nutné zmínit, že samotné téma vodíkové křehkosti je závažný a dosud zcela neobjasněný složitý proces. Navíc existuje hned několik teorií, jak vodík v materiálu vzniká jmenovitě např. teorie vnitřních pnutí (popsána výše), dekohezní teorie, teorie kritické koncentrace vodíku aj.

Dalším problémem je nedokonalé odstranění různých kapalin potřebných při samotných procesech ať už předúprav, chemických a galvanických pokovováních, kde se užívá různých lázní. Například je dané, jak již bylo řečeno, že odmašťování není vhodné pro členité předměty, jelikož by v různých záhybech a důlkách mohl zůstat zbytek lázně. Takto nedokonalé odstranění je pak hlavní příčinou vzniku korozních produktů, právě v daných místech.

Jiným, ne méně závažným, tématem je také negativní dopad povrchových úprav na životní prostředí. Znečištění ovzduší emisemi plynů či aerosolů, ale i okolí, ve kterém člověk pracuje. Je zjevné, že úpravy se mnohdy neobejdou bez určitých chemikálií zapříčiňující požadovanou chemickou reakci, pro získání určitých povrchových vlastností. Pro povlakování je zapotřebí např. kyselých nebo zásaditých lázní, odmašťovadel u odmašťování, u nátěrů různých plniv, barviv, olejů a laků. Tyto chemikálie jsou hrozbou pro životní prostředí z hlediska jejich likvidací, ale i pro ovzduší, tj. také pracovními podmínkami pro člověka, který s těmito chemikáliemi pracuje. Právě organické povlaky mají své dominantní postavení nejen ve využitelnosti, ale i ve znečišťování. Je tedy důležité, se zamýšlet nad typy povrchových úprav, ale i nad jejich aplikací z hlediska ekologie a dodržovat správnou bezpečnost práce.

## Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo charakterizovat různé metody povrchových úprav železných materiálů a zmínit jejich technické aplikace. Povrchové úpravy jsou tedy velice výhodné pro zlepšení mechanických vlastností materiálů, působí protikorozně a chrání proti otěru a dalším vnějším vlivům jako je např. teplota. Je tedy vhodné zhodnotit hlavní využití různých povrchových úprav.

Jak bylo řečeno je vždy nutná kvalitní předúprava povrchu. Pro litinu s lupínkovým grafitem je vhodné volit při broušení hrubování, u oceli zase naopak vyhlazování. Leštění je nejlepší aplikovat např. před pokovováním niklem, mosazí či křemíkem. Broušení a leštění se však volí jen tam kde jsou vysoké požadavky na úpravu povrchu. Otryskávání se užívá zejména před metalizací, aplikací nátěru či plastových povlaků. Odmaštění je vhodné pro silně znečištěné oceli a litiny. Při moření ocelí se užívá zejména kyselina chlorovodíková, u litiny kyselina chlorovodíková s kyselinou fluorovodíkovou. Proces moření je vhodný zejména před cínováním, smaltováním a galvanickým pokovováním.

Povlakování je možné kovové, nekovové a organické. Kovové povlaky jsou chemické, galvanické (elektrochemické), žárové, metalizované, termodifuzní a vakuové. Chemické pokovení je vhodné pro složité součásti se závity a dutinami. Mědění se uplatňuje jako podvrstva chromování a stříbření. Zinek je vhodný jako podvrstva pro galvanické pokovování. Galvanické pokovování je výbornou protikorozní volbou díky své nízké pórovitosti. Galvanické pokovení mědi je vhodný podklad pro niklování, stříbření a zlcení. Galvanické zinkování je vhodné pro součástky vystavené vodním a atmosférickým vlivům, aplikuje se na litinu s lupínkovým grafitem a temperovanou litinu. Galvanické stříbření je pro svou tepelnou a elektrickou vodivost užívané v elektrotechnickém průmyslu; niklování pro elektrotechniku, renovace, u namáhaných součástí, v leteckém průmyslu, v optice a zdravotnictví, ale i jako podklad pro chromování. Žárové povlakování je hojně u pásů, drátů, trubek a je vhodné povrch předtím upravit mořením, má vynikající vlastnosti vůči opotřebení. Využívané je zejména žárové hliníkování pro svou vysokou žáruvzdornost a odolnost vůči chemikáliím a olovění pro plechové nádrže díky své odolnosti proti síře. Metalizování je vhodné pro elektroizolaci a tepelnou izolaci, proti opotřebení, a hlavně se užívá pro ocelové konstrukce. Je hojně užíváno, jelikož lze lehce řídit tloušťku naneseného povlaku. Termodifuzní povlak je odolný vůči žáru a korozi. Vakuové pokovování je významné pro optiku, polovodičové součástky a pro pokovení nevodivých materiálů. Pro nekovové povlaky je v úvaze tvoření konverzní vrstvy nebo smaltování. Konverzní vrstvy jsou typické svou výbornou elektroizolací a jsou vhodné jako podklad pro nátěry. Oxidací se mohou kovy barvit (modření, černění), fosfátování je výbornou pokladovou vrstvou pro galvanické zinkování. Chromování se aplikuje na již galvanicky pozinkované materiály a tato kombinace je hojně užívanou protikorozní ochranou. Smaltované povlaky vydrží vysoké teploty, jsou odolné proti kyselině, jsou vhodnou izolací a působí proti otěru. Organické povlakování nátěry je nejužívanější ze všech způsobů povlakování díky svým výhodným vlastnostem jako je namíchatelnost, škála barev a využití. Působí proti větru, oleji, mořské vodě, vibracím a ohni. Povlaky z plastů jsou hojně využívány pro pásy, plechy, dráty a trubky.

Nakonec je nutné zvážit i negativní vlivy jako je vnitřní pnutí působením vysokých teplot, vznik vodíku způsobující vodíkovou křehkost při galvanických procesech a případné pozůstatky lázně v dutinách materiálu, které mohou zapříčinit vznik koroze.



## Literatura

- [1] MÜLLER, M. a Zdeněk PETRŽELA. *Strojírenská technologie část I.-II.: Studijní text pro tříletý učební obor zámečník*. Registrační číslo CZ.1.07/1.1.04/02.0071. Olomouc OMT, 2010. Dostupné také z: <http://www.unicprum.cz/index.php/component/phocadownload/category/9-ucebnice?download=52:strojni-mechanik-ucebnice>
- [2] HAMERNÍK, J. Přehled technických materiálů užívaných ve strojírenství. *Mgr. Jan Hamerník* [online]. Pelhřimov, 2006 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: [http://jhamernik.sweb.cz/technicke\\_materialy.htm](http://jhamernik.sweb.cz/technicke_materialy.htm)
- [3] BRHLÍK, D. *Evropské normy pro značení ocelí* [online]. Brno, 2009 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16640](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16640). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Eva Novotná. Ph.D.
- [4] ČUPA, J. *Vliv tepelného zpracování na mechanické vlastnosti oceli*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Vedoucí práce Jiří Votava.
- [5] ČSN CR 10260 (420011). *Systémy označování ocelí - Přídavné symboly*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [6] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [7] HLUCHÝ, M. a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 8071832456.
- [8] *Povrchová úprava* [online]. Kovářství Hefaistos, Kuřim [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: [www.kovarstvi-hefaistos.cz/povrchova-uprava-kovu/](http://www.kovarstvi-hefaistos.cz/povrchova-uprava-kovu/)
- [9] *Povrchová úprava*. Hradec Králové, 2006, **III.**(Září 2006). ISSN 1801-707X.
- [10] Konverzní povlak. *Enpedie* [online]. 2013 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: [http://enpedie.cz/wiki/Konverzn%C3%AD\\_povlak](http://enpedie.cz/wiki/Konverzn%C3%AD_povlak)
- [11] NAGY, O. *Hodnocení jakosti kovových protikorozních povlaků* [online]. Brno, 2009 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [www.is.mendelu.cz/zp/portal\\_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=22140;..prace](http://www.is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=22140;..prace) Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Vedoucí práce Doc. Ing. Vlastimil Chrást, CSc.
- [12] KREJČÍK, V. *Povrchová úprava kovů I pro 2. ročník středních odborných učilišť*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [13] TULKA, J. *Povrchové úpravy materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005. ISBN 80-214-3062-1.
- [14] *Povrchová úprava*. Hradec Králové, 2011, **VII.**(Březen 2011). ISSN 1801-707X.
- [15] ČSN EN ISO 9717. *Kovové a jiné anorganické povlaky – Fosfátové konverzní povlaky na kovech*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

- [16] Měření tloušťky povlaků. *Tribotechnika* [online]. TechPark [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22014/mereni-tloustky-povlaku.html>
- [17] KREISLOVÁ, K. a Jaroslava BENEŠOVÁ. *Povrchové úpravy: Texty ke školení*. Praha: SVÚOM, 2011.
- [18] *Příručka žárového zinkování*. 5.vyd. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2011.
- [19] *Povrchová úprava*. Hradec Králové, 2006, **III**, (Duben 2006). ISSN 1801-707X.
- [20] Žárové stříkání. *Plasmametal* [online]. Brno: PLASMAMETAL [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.plasmametal.cz/pouzite-technologie>
- [21] ŠINDELA, V. *Vodíková křehkost spojovacích šroubů* [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=42434](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42434). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Prof. Ing. Rudolf Foret, CSc.
- [22] PAKOSTA, M. *Vnitřní pnutí při galvanickém pokovení* [online]. Praha, 2010 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://stc.fs.cvut.cz/pdf/PakostaMichal-325952.pdf>. Sborník. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc.Ing., Viktor, Kreibich, CSc.
- [23] BOTHE, O. Strojírenská technologie I. In: *Střední odborné učiliště Horní Slavkov, příspěvková organizace* [online]. Praha: SNTL, 1983 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [http://www.ouhornsavkov.cz/assets/File.ashx?id\\_org=400056&id\\_dokumenty=1688](http://www.ouhornsavkov.cz/assets/File.ashx?id_org=400056&id_dokumenty=1688)
- [24] ŠULC, R. 8. Koroze. In: *ČVUT Fakulta strojní* [online]. Fakulta strojní ČVUT: Praha, 2008 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch\\_predn13-Ko.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_predn13-Ko.pdf)
- [25] Hodnocení přilnavosti nátěru: Mřížková zkouška dle ČSN ISO 2409. *Atryx* [online]. Praha: Atryx, 2008 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.atryx.cz/prakticka-prirucka/hodnoceni-prilnavosti/>

## Seznam použitých zkratek

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
CVD	chemická depozice z plynné fáze
HV	tvrdost podle Vickerse
HVOF	vysokorychlostní žárové stříkání plazmou
LKG	litina s kuličkovým grafitem
LLG	litina s lupínkovým grafitem
pH	„potential of hydrogen“, číslo vyjadřující, zda roztok reaguje kyselé nebo zásaditě
PECVD	plazmově vylepšená chemická depozice z plynné fáze
PVD	fyzikální depozice z plynné fáze